



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO  
PERNAMBUCANO - CAMPUS PETROLINA  
LICENCIATURA EM FÍSICA**

**RAUL GOMES ANTUNES**

**UMA PROPOSTA DE UEPS SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO E OS  
RAIOS X**

**PETROLINA-PE**

**2024**



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO  
PERNAMBUCANO - CAMPUS PETROLINA  
LICENCIATURA EM FÍSICA**

**RAUL GOMES ANTUNES**

**UMA PROPOSTA DE UEPS SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO E OS  
RAIOS X**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, como parte dos requisitos para a conclusão do curso de licenciatura em Física.  
Orientador(a): Prof. Msc. Daniel Berg de Amorim Lima

**PETROLINA-PE**

**2024**

A627 Antunes, Raul Gomes.  
UMA PROPOSTA DE UEPS SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO E OS RAIOS X  
/ Raul Gomes Antunes. - Petrolina, 2024.  
61 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) -Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina, 2024.

Orientação: Prof. Msc. Daniel Berg de Amorim Lima.

1. Física Moderna. 2. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. 3. Teoria  
da Aprendizagem Significativa. 4. Sequência didática. I. Título.

CDD 539

**DEDICATÓRIA**

*Dedico este trabalho inteiramente aos meus pais que, embora tenham tido pouco acesso à educação formal, sempre me apoiaram carinhosamente para continuar os estudos.*

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente, agradeço aos meus pais - Ivanilda e Lourival – e às minhas irmãs – Maiara, Brígida e Lara – pelo apoio e carinho incondicionais durante toda a minha graduação.

Aos meus tios, Josefa e Aleixo, também pelo apoio.

Ao meu orientador - professor Daniel Berg - pela paciência, tempo dedicado e valorosas contribuições.

Aos meus amigos, em especial Eduardo, Giovane, Joabner, Débora, Dalila, Priciely, Fabiana e Ana pela calorosa presença.

A todos os meus professores, pelas contribuições formativas durante a graduação.

## RESUMO

Este trabalho consiste em uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre efeito fotoelétrico e os raios X. O objetivo foi propor essa sequência didática levando em consideração as etapas da UEPS, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa. Sendo assim, realizou-se a revisão na literatura de temas pertinentes ao desenvolvimento da unidade, elaborou-se situações-problema e atividades didáticas e, por conseguinte, foi estruturada a sequência de ensino. Este é um trabalho qualitativo em que nele são propostos diversos meios para avaliar a aprendizagem, a saber: questionário, roteiro para experimentação, mapa conceitual, questões abertas e texto. Dessa forma, foi desenvolvida uma sequência didática sobre Física Moderna em oito etapas, respeitando os princípios da aprendizagem significativa. Espera-se que, a partir dos métodos de coleta de dados ao longo da unidade de ensino e das diretrizes determinadas para avaliá-los, seja possível determinar indícios de aprendizagem significativa. No entanto, como a Teoria da Aprendizagem Significativa valoriza os conhecimentos prévios e prima pelo planejamento a partir deles, ressalta-se que esta proposta apresenta limitações nesse aspecto. Dessa forma, sua aplicação em sala de aula deve levar em consideração a necessidade de adaptação de acordo com esse parâmetro.

**Palavras-chave:** Física Moderna; Unidade de Ensino Potencialmente Significativa; Teoria da Aprendizagem Significativa; Sequência didática.

## ABSTRACT

This work consists of a Potentially Significant Teaching Unit on the photoelectric effect and X-rays. The aim was to propose this didactic sequence taking into account the stages of the UEPS, based on the Theory of Significant Learning. Thus, a literature review of topics relevant to the development of the unit was carried out, problem situations and didactic activities were developed and, consequently, the teaching sequence was structured. This is a qualitative work in which various means of assessing learning are proposed, namely: a questionnaire, a script for experimentation, a concept map, open questions and a text. A didactic sequence on Modern Physics was developed in eight stages, respecting the principles of meaningful learning. It is hoped that, based on the data collection methods used throughout the teaching unit and the guidelines used to evaluate them, it will be possible to determine signs of significant learning. However, as Significant Learning Theory values prior knowledge and strives to plan based on it, it should be noted that this proposal has limitations in this respect. Therefore, its application in the classroom must take into account the need to adapt according to this parameter.

**Keywords:** Modern Physics; Potentially Meaningful Teaching Unit; Meaningful Learning Theory; Teaching Sequence.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 ENSINO DE FÍSICA E ELEMENTOS DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Ensino de física no Brasil.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Aprendizagem significativa.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 Unidade de ensino potencialmente significativa.....</b>	<b>23</b>
<b>2.4 Mapa conceitual .....</b>	<b>26</b>
<b>3 CONTEÚDOS ESPECÍFICOS PARA A UEPS .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Efeito fotoelétrico.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Raios x.....</b>	<b>36</b>
<b>4 PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA ..</b>	<b>41</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>51</b>
<b>APÊNDICE A – Situação inicial .....</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICE B – Situação-problema 1 .....</b>	<b>59</b>
<b>APÊNDICE C – Avaliação somativa individual .....</b>	<b>62</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A Física Clássica não permite explicar, sem apresentar contradições, alguns fenômenos que ocorrem na escala atômica. Isso pode ser visto, por exemplo, a partir do problema da estabilidade do elétron. O elétron realiza um movimento circular nos orbitais eletrônicos e, de acordo com a Mecânica Clássica, uma partícula nesse tipo de movimento deve possuir uma aceleração centrípeta. De acordo com a Teoria Eletromagnética Clássica, sabe-se que uma partícula carregada, que possui uma aceleração, deve emitir energia na forma de radiação eletromagnética. Desse modo, o elétron deveria perder energia por meio da emissão de radiação eletromagnética até que colidisse com o núcleo. No entanto, isso não ocorre na prática, o que evidencia que a Mecânica Clássica não é adequada para explicar fenômenos do mundo atômico (Palandi; Figueiredo; Denardin; Magnago, 2010). O advento da Física Moderna permitiu compreender este e muitos outros fenômenos. Além disso, também possibilitou a compreensão da estrutura da matéria e, levando ao surgimento de muitas aplicações tecnológicas que são utilizadas atualmente, entre elas a eletrônica (Melhorato; Nicoli, 2012).

Temos diversos desafios para enfrentar no ensino de Física no Brasil. Moreira (2017) critica alguns aspectos do ensino contemporâneo de Física, incluindo a falta de preparo dos professores, más condições de trabalho, redução das aulas no Ensino Médio, perda gradual da identidade da Física no ensino secundário, abordagem mecânica e conteúdo desatualizado. Esse pesquisador destaca que o ensino de Física muitas vezes se limita à Física clássica, sem considerar o conhecimento científico desenvolvido após o século XIX. Além disso, de acordo com Pereira e Aguiar (2020), o desinteresse dos estudantes está intimamente relacionado com a qualidade do ensino no Brasil, que necessita de uma revisão das práticas pedagógicas.

Vale salientar que a Física Moderna se baseia em experimentos não verificáveis pelos sentidos humanos, derivando os conceitos desses eventos. Sendo assim, devido à sua natureza, não é incomum que esses conceitos sejam pouco intuitivos e não se relacionem diretamente com a vivência cotidiana (Palandi; Figueiredo; Denardin; Magnago, 2010).

Tendo em vista esses desafios no ensino de Física, em especial a abordagem pedagógica e o conteúdo desatualizado, propõe-se neste trabalho uma sequência didática baseada na Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) proposta por Moreira (M., 2011). De acordo com Moreira (M., 2011), essa sequência didática é baseada em diversas teorias de ensino, em especial a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Dessa forma, ele propõe uma sequência de passos para implementá-la e, a partir disso, criou-se uma UEPS sobre efeito fotoelétrico e raios X. Esses dois conteúdos foram escolhidos, pois de acordo com Young *et al.* (2016), são interrelacionados. Dessa forma, possuem semelhanças e diferenças que permitem que as características e princípios da UEPS e da Aprendizagem Significativa sejam bem explorados.

O objetivo geral deste trabalho foi propor uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para o ensino do efeito fotoelétrico e dos raios X a estudantes do Ensino Médio, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa. Para isso, foram delineados os seguintes objetivos específicos: revisar a literatura, elaborar situações-problemas, atividades didáticas e estruturar uma sequência didática baseada na UEPS.

Esta unidade de ensino será aplicada em uma turma de 3º ano do Ensino Médio. Serão utilizados mapas conceituais, questionários e prova individual para avaliar a aprendizagem. Os mapas conceituais serão avaliados de acordo com os critérios de Araújo, Menezes e Cury (2003). Os questionários e a prova individual serão analisados com base em Moreira (M., 2011) e Moreira (M., 2016), a fim de determinar se há indícios de aprendizagem significativa, isto é, se houve captação de significado, compreensão, capacidade de explicar e capacidade de aplicar para resolver novas situações-problema.

O segundo capítulo, ensino e elementos da aprendizagem significativa, foi particionado em quatro seções. Na primeira seção, é relatada uma visão panorâmica sobre o ensino de Física no Brasil, destacando críticas, características e os diversos desafios para superar o que são vistos como problemas no ensino dessa disciplina. Na segunda seção, discute-se a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Para tanto, inicialmente ela é definida de acordo com a visão deste teórico. Em

seguida, são discutidos alguns dos conceitos presentes na teoria, como subsunção, assimilação, aprendizagem mecânica versus aprendizagem significativa, aprendizagem por recepção versus aprendizagem por descoberta, as duas condições para ocorrência da aprendizagem significativa, organizador prévio, formas e tipos de aprendizagem significativa, princípios da aprendizagem significativa e, por fim, indícios de aprendizagem significativa. Na terceira seção, é apresentada a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, como proposta por Moreira (2011). Destaca-se o objetivo, os princípios que a norteiam, os oito aspectos sequencias e os aspectos transversais. Na quarta seção é apresentado o mapa conceitual, suas características, diferentes finalidades, etapas para criação, de acordo com Novak e Cañas (2010), e também é apresentada o IHMC CmapTools, uma ferramenta de criação de mapas conceituais.

O terceiro capítulo, conteúdos específicos para a UEPS, foi dividido em duas seções. Nelas são discutidos os conteúdos que serão abordados na UEPS, efeito fotoelétrico e raios X, destacando uma breve discussão histórica, suas características, aplicações no cotidiano, advertência com respeito aos raios X e a relação entre esses dois conteúdos.

O quarto capítulo descreve a unidade de ensino aqui proposta, destacando todos os oito passos e os critérios de análise de dados.

Por fim, no último capítulo são apresentadas as considerações finais.

Para finalizar, espera-se, ao longo da execução desta unidade de ensino, por meio dos diversos instrumentos para obtenção de dados, que sejam determinados indícios de aprendizagem significativa.

## **2 ENSINO DE FÍSICA E ELEMENTOS DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

### **2.1 Ensino de física no Brasil**

Moreira, por meio de diversos trabalhos (Moreira M., 2021a, 2018a, 2018b, 2017), apresenta uma visão panorâmica e contemporânea sobre o ensino de Física no Brasil. Moreira (M., 2017) tece algumas críticas sobre o ensino de Física contemporâneo, entre elas: falta de preparo docente, más condições de trabalho, redução de aulas no Ensino Médio, progressiva perda de identidade da Física no ensino secundário, ensino mecânico e conteúdo desatualizado. Ele destaca que o ensino de Física é caracterizado pela redução à Física clássica, não levando em consideração os conteúdos posteriores ao século XIX. Essa crítica também está presente nos Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 1999): disciplinas como a Física pouco tratam do desenvolvimento científico realizado ao longo do século XX, dando ênfase a conteúdos com uma abordagem enciclopédica e exageradamente dedutiva, aqueles considerados tradicionais. Além disso, Pereira e Aguiar (2020) afirmam que é recente a previsão de conteúdos atuais no currículo.

Ainda de acordo com o que está presente nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), o Ensino de Física tem se caracterizado por simplesmente apresentar conceitos, leis e fórmulas não articuladas com a vivência dos estudantes e professores. Dessa maneira, constitui um conhecimento sem significado. Ademais, a disciplina é tratada como totalmente completa e resultado da contribuição de gênios tais como Newton, Galileu e Einstein. Consequentemente, os estudantes chegam à conclusão de que não há mais nada a ser pesquisado (Brasil, 1999). Essa norma dá ênfase a um ensino contextualizado, apresentando diversos exemplos de abordagens. Contudo, ressalta que esse conjunto não deve ser visto como completo ou como uma receita que deve ser estritamente seguida. A partir desses exemplos, busca-se uma mudança de foco "visando à vida individual, social e profissional, presente e futura, dos jovens que frequentam a escola média." (Brasil, 1999, p. 28).

Além disso, no ensino de Física há alguns equívocos que merecem ser discutidos, a saber: ensino para testagem, o modelo narrativo, modelo de bons professores e a aprendizagem mecânica (Moreira M., 2018a). Esses aspectos são

brevemente discutidos nos parágrafos seguintes.

O ensino para testagem é caracterizado por ter a finalidade de treinar o indivíduo para determinadas perguntas e suas respectivas respostas predeterminadas (Moreira, M., 2018a). Isso não é uma novidade, tendo em vista que essa crítica está de acordo com uma das observações de Feynman sobre as características e dificuldades percebidas em sua breve experiência em ensino no Brasil, no período de 1951 a 1952. O físico destaca que o ensino é baseado em memorização (Moreira, I., 2018).

A relação educador-educando é, de maneira geral, caracterizada por ser narradora. Assim, o narrador seria o sujeito ativo, enquanto os educandos são considerados objetos passivos (Freire, 2018). Portanto, o professor ensina o conhecimento por meio da narrativa (Moreira, M., 2018a). Para se opor a isso, deve-se “ensinar com a boca fechada” (Finkel, 1999 apud Moreira, M., 2018a, p. 83). No entanto, nem todo professor apenas copia o que está nos livros, pois alguns também apresentam diagramas, resumos, exemplos e demonstrações. Dessa forma, o docente poderia estar realizando um bom trabalho. Contudo, frequentemente, os estudantes acabam apenas copiando todo o conteúdo para se preparar para a prova (Moreira, M., 2018a). A aprendizagem mecânica é caracterizada como literal (decorada), arbitrária, armazenada na memória de curto prazo, e sem significado para o indivíduo. Além disso, caracteriza-se por ser utilizada apenas em situações previamente conhecidas (Moreira, M., 2021b).

Para finalizar, Moreira (2021a) destaca diversos desafios no ensino de Física que, de certa forma, compilam alguns aspectos discutidos anteriormente. Ele também centraliza a necessidade de promover a aprendizagem significativa, com as seguintes diretrizes:

- Priorizar conceitos em vez de fórmulas;
- Utilizar situações em que façam sentido para os estudantes;
- Considerar os conhecimentos prévios dos estudantes;
- Atentar-se aos modelos e modelagem;
- Não ensinar a Física como totalmente acabada, definitiva, nem mesmo os princípios como verdades absolutas;

- Incentivar o desenvolvimento de competências científicas, tais quais: modelagem, argumentação a partir de evidências, comunicação de resultado, bem como questionar cientificamente;
- Estimular um ensino híbrido, isto é, a participação ativa tanto do professor quanto do estudante;
- Utilizar as tecnologias digitais de informação e comunicação;
- Fazer uso de laboratórios virtuais;
- Sempre promover a aprendizagem significativa;
- Procurar evidências de aprendizagem significativa por meio das avaliações;
- Estimular o interesse no estudante pela Física.

## 2.2 Aprendizagem significativa

Ausubel dedica a primeira página de pelo menos um de seus livros sobre Aprendizagem Significativa àquilo que fundamenta sua teoria:

Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980, p. VIII).

De acordo com Moreira (M., 2016), embora essa afirmação aparente ser simples, a justificativa para tal não é. Esse enunciado possui algumas ideias implícitas que merecem destaque para que possamos compreendê-lo. Para explicar, Moreira (M., 2016) afirma que, quando Ausubel se refere a “aquilo que o aprendiz já conhece” (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980, p. VIII), esse teórico alude à estrutura cognitiva, isto é, à organização das ideias e do conteúdo no indivíduo. É nessa estrutura que se processam a organização e a integração (Moreira, M., 2016; Moreira, M., 2012a). Para o contexto da aprendizagem significativa numa determinada disciplina acadêmica, isso diz respeito à organização das ideias e ao conteúdo dessa disciplina. Além disso, para que o que o estudante já conhece dê suporte à aprendizagem significativa, é necessário que esse conhecimento tenha sido adquirido de modo não-arbitrário e não literal (Moreira, M., 2016). Moreira (M., 2016) também se refere à solicitação de Ausubel de que o professor “averigue isso” (neste enunciado extraído do livro de 1980, Ausubel solicita “Descubra o que ele sabe”) como uma tarefa nada simples, tendo em vista que isso significa, nas palavras de Moreira (M., 2016, p. 7), “desvelar a estrutura

cognitiva preexistente”, isto é, os conceitos, ideias e proposições organizadas na estrutura cognitiva do indivíduo, além das interrelações entre elas.

A teoria de aprendizagem de Ausubel está centralizada na aprendizagem significativa, que consiste em um processo no qual uma informação se relaciona com aquilo contido na estrutura cognitiva do indivíduo de maneira substantiva (não literal) e não-arbitrária. Essa interação da informação acontece com um aspecto específico presente na estrutura cognitiva do indivíduo e que, na teoria de Ausubel, é conhecido como subsunçor. Nessa teoria, esse processo é denominado de assimilação (Moreira, M., 2016). O subsunçor é um componente específico, relevante (podendo ser conceito, proposição ou ideia, por exemplo) presente na estrutura cognitiva, que interage com a informação a ser aprendida. Ele serve como um ancoradouro para a nova informação de forma que esta adquira significado (Moreira, M., 2016; Valadares, 2011). Para Valadares (2011), a aprendizagem significativa é substantiva, pois é a “substância”, o “recheio” do conceito, portanto não é algo com significado vazio. Com base nisso, pode-se afirmar que a aprendizagem é não-litera.

Valadares (2011) sintetiza esquematicamente a assimilação da seguinte maneira:

$$i + S \rightarrow i'S'$$

Em que  $i$  é a nova informação potencialmente significativa e  $S$  o subsunçor (Valadares, 2011). Após a interação, Valadares (2011), à luz da teoria de Ausubel, afirma que surge o produto  $i'S'$ , em que  $i'$  é a nova informação que sofreu modificação e se caracteriza por ser idiossincrásica. Por fim,  $S'$  é o subsunçor, mas agora também modificado. Uma hipótese formulada por Ausubel é de que a assimilação facilita a retenção de significado. Para explicar o mecanismo pelo qual a nova informação recém assimilada permanece disponível, postula-se que, para um determinado período, o produto da assimilação ainda é passível de ser separado individualmente. No entanto, com o tempo, a nova informação tende a ser reduzida para um significado mais estável, configurando, portanto, um novo estágio denominado "assimilação obliteradora", em que o produto da interação não pode ser individualizado (Moreira,

M., 2016).

Outro ponto importante sobre a aprendizagem é que a memória humana não é simplesmente um espaço que pode ser preenchido. Na verdade, ela é composta por sistemas de memórias interrelacionadas (Novak; Cañas, 2010). Ausubel interpreta o armazenamento da informação — que, de maneira genérica, inclui conceitos, ideias e (ou) proposições — como bem organizado, dando origem a uma hierarquia na qual componentes específicos são conectados às informações gerais e inclusivas (Moreira, M., 2016).

Em contraponto, a aprendizagem mecânica é caracterizada como literal (decorada), arbitrária, armazenada na memória de curto prazo, sem significado para o indivíduo. Ela também é empregada para aplicação em uma situação previamente conhecida. A reclamação dos estudantes de que na prova não está tal qual foi apresentado em sala de aula é uma das consequências do seu emprego em sala de aula (Moreira, M., 2021b). Nesse tipo de aprendizagem, a informação não interage com subsunçores específicos e, portanto, não contribui para sua elaboração e diferenciação (Moreira, M., 2016).

Embora se possa imaginar essas duas maneiras de aprender como caminhos totalmente distintos, as aprendizagens significativa e mecânica não são dicotômicas. Na realidade, são os extremos de um contínuo (Valadares, 2011). Em algumas situações pode ser conveniente a aprendizagem mecânica, como no caso em que o estudante está numa fase inicial para aquisição do conteúdo (Moreira, M., 2016).

Há também uma outra falsa dicotomia entre aprendizagem por recepção e aprendizagem por descoberta (Moreira, M., 2012b), que merece ser discutida. A primeira diz respeito à aprendizagem em que o estudante “recebe” a informação em seu estado final. Isso não implica que a aprendizagem ocorra de maneira passiva. A aprendizagem por recepção pode acontecer por meio de livros, aulas, filmes, experiências de laboratório, simulações computacionais, entre outras maneiras (Moreira, M., 2012b). Como ressalta Moreira (M., 2012b), esse tipo de aprendizagem pressupõe intensa atividade cognitiva para relacionar, de forma interativa, os conhecimentos já presentes na estrutura cognitiva com a nova informação. Envolve diversos processos, incluindo: “captação de significados, ancoragem, diferenciação



progressiva e reconciliação integrativa” (Moreira, M., 2012b, p. 13).

A segunda é a aprendizagem por descoberta, na qual o estudante deve descobrir aquilo que tem de aprender. No entanto, a descoberta não necessariamente conduz à aprendizagem significativa. Após a descoberta, para que aconteça a aprendizagem significativa, deve-se atentar às condições: presença de subsunçores pertinentes na estrutura cognitiva e predisposição para aprender. Novak e Cañas (2010) afirmam que, nos anos iniciais de aprendizagem de uma criança, o aprendizado ocorre substantivamente por descoberta. Durante esse processo, a criança percebe regularidades em objetos ou eventos e as reconhece por meio dos signos apresentados por outras pessoas. Moreira (M., 2012b) ressalta que, de maneira geral, adultos e crianças não tão pequenas aprendem por recepção, isto é, por meio da interação entre os conhecimentos prévios e a nova informação. É uma tarefa praticamente impossível aprender a enorme quantidade de informação disponível por meio da descoberta.

Destaca-se que, assim como as aprendizagens significativa e mecânica, essas modalidades de aprendizagem constituem um contínuo. Portanto, a aprendizagem não precisa ser rigidamente classificada como por recepção ou por descoberta. Existe, assim, uma zona cinza com características de ambas. Por fim, embora atualmente o ensino seja centrado no estudante, isso não implica necessariamente em aprendizagem por descoberta e, nos ensinos médio e superior, continuará predominantemente a aprendizagem por recepção.

Para que ocorra a aprendizagem significativa, é necessário que duas condições sejam satisfeitas: a primeira se refere ao conteúdo, que deve ser potencialmente significativo. Para isso, é necessário que (1) o conteúdo tenha significado lógico (relacionável com os subsunçores), sendo assim não arbitrário (aleatório) e não literal, e (2) que existam subsunçores pertinentes na estrutura cognitiva do aprendiz para que aconteça a assimilação significativa. A segunda condição diz respeito à atitude do estudante, isto é, ele deve demonstrar predisposição para aprender significativamente, relacionando a nova informação com a sua estrutura cognitiva (Moreira, M., 2016; Valadares, 2011).

Caso o aprendiz não possua subsunçores adequados na sua estrutura

cognitiva, Ausubel propõe que se deve utilizar organizadores prévios que desempenhem o papel de “ancoradouro provisório” para a nova informação de forma a permitir o desenvolvimento de ideias, conceitos ou proposições pertinentes que, por sua vez, sustentem a continuação dos estudos. São caracterizados por serem introdutórios e apresentados em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade. Diferentemente de um sumário, que geralmente possui o mesmo nível de abstração, generalidade e inclusividade do material estudado e apenas destaca alguns tópicos relevantes (Moreira, M., 2012a).

De acordo com Moreira (M., 2012a), na Teoria de Aprendizagem Significativa, o organizador prévio desempenha a função de “ponte cognitiva”, isto é, uma interligação entre o que o estudante já conhece e a nova informação. Esses organizadores podem ser expositivos ou comparativos. O organizador expositivo é conveniente no caso em que o aprendiz não tem familiaridade com o que se pretende ensinar. Ele deve ser desenvolvido a partir do que o estudante conhece em outras áreas do conhecimento. Dessa forma, desempenhará, conforme Moreira (M., 2012a), a função de “ponte de ancoragem inicial”.

Por outro lado, se o aprendiz tiver alguma familiaridade com o assunto, convém utilizar o organizador comparativo, que busca realizar uma diferenciação e integração de conceitos, proposições ou ideias que o aprendente possui na estrutura cognitiva (Moreira, M., 2012a).

Não é trivial definir se o material que se pretende usar é, realmente, um organizador prévio, pois isso depende, segundo Moreira (2012a), “da natureza do material de aprendizagem, do nível de desenvolvimento cognitivo do aprendiz e do seu grau de familiaridade prévia com a tarefa de aprendizagem.” (Moreira, M., 2012a, p. 3).

É fundamental diferenciar organizadores prévios de pseudo-organizadores. O primeiro tem o objetivo de facilitar a aprendizagem significativa de tópicos específicos ou de uma série de ideias relacionadas. Por outro lado, o segundo refere-se a um material introdutório que busca facilitar a aprendizagem de diversos assuntos, como capítulos de um livro ou unidades de ensino (Ausubel, 1980 apud Moreira, M., 2012a).

No que se refere às formas de aprendizagem significativa, elas podem ser

classificadas em: subordinação, superordenação e combinatória. Já os tipos de aprendizagem significativa podem ser representacional, conceitual e proposicional (Moreira, M., 2012b).

Quando uma nova informação obtém significado por meio da interação com um subsunçor, isso é chamado de subordinação pela Teoria da Aprendizagem Significativa, tendo em vista que o conhecimento prévio é mais geral e inclusivo; logo, a nova informação fica subordinada ao conhecimento prévio pertinente na estrutura cognitiva. Essa teoria de aprendizagem afirma que a nova informação é ancorada na estrutura cognitiva (Moreira, M., 2016; Moreira, M., 2012b). Por sua vez, a aprendizagem subordinada pode ser classificada em dois tipos: derivativa e correlativa. A aprendizagem subordinada derivativa acontece quando a nova informação é um exemplo do subsunçor (Moreira, M.; Veit, 2013). Por outro lado, como afirma Moreira (M., 2016), a aprendizagem subordinada correlativa é caracterizada pela nova informação, que deve ser aprendida como “uma extensão, elaboração, modificação ou qualificação de conceitos ou proposições previamente aprendidos” (Moreira, M., 2016, p. 21). Resumidamente, como afirma Moreira (M., 2012b), na aprendizagem subordinada derivativa, acontece uma mudança mais radical no subsunçor, enquanto que, na correlativa, o subsunçor é corroborado.

A aprendizagem superordenada ocorre quando, por exemplo, um conceito mais geral e inclusivo, representado como A, é adquirido com base em conceitos presentes na estrutura cognitiva ( $a_1, a_2, a_3$ ). Portanto, os subsunçores são assimilados e resulta-se em uma nova informação (Moreira, M., 2016). Esse mecanismo de aprendizagem não é tão comum como a aprendizagem subordinada (Moreira, M., 2021b). Para complementar, Pontes Neto (2013) afirma que, para essa forma, a alteração na estrutura cognitiva é maior, considerando que a nova informação se torna mais abrangente que os subsunçores.

Por fim, para encerrar sobre as formas de aprendizagem significativa, existe outra forma denominada combinatória. Nessa modalidade, a aprendizagem de uma informação é adquirida a partir de uma relação geral com a estrutura cognitiva, sem estabelecer uma relação de subordinação ou superordenação com subsunçores específicos (Moreira, M., 2016).

No que se refere aos tipos de aprendizagem significativa, a aprendizagem representacional subjaz aos outros, isto é, estes dependem dela. Esse tipo é o que está mais próximo da memorização e acontece quando o significado de um signo é equivalente àquilo que ele referencia (podendo ser uma palavra, um conceito, um acontecimento, entre outras coisas). Resumidamente, o símbolo equivale, em significado, ao referente (Ausubel, 2003; Moreira, M., 2016).

Ausubel (2003, p. 2) define conceito como “objetos, acontecimentos, situações ou propriedades que possuem atributos específicos comuns e são designados pelo mesmo signo ou símbolo”. Os conceitos também são representados por meio de símbolos; dessa maneira, são uma forma de aprendizagem representacional. Contudo, são genéricos, visto que representam abstrações dos aspectos essenciais daquilo que referenciam (Moreira, M., 2016). Há duas maneiras de aprender conceitos: formação conceitual e assimilação conceitual. A primeira ocorre, predominantemente, durante a aprendizagem de crianças pequenas, isto é, ainda em estágio inicial de aprendizagem. A segunda acontece, principalmente, durante a aprendizagem de crianças em idade escolar e adultos (Ausubel, 2003; Moreira, M., 2016).

Diferentemente da aprendizagem representacional (equivalente ao significado de um referente), na aprendizagem proposicional deve-se aprender o significado na forma de uma proposição, ou seja, uma combinação de palavras que representam conceitos. É notório que o significado de cada conceito é importante para a compreensão da proposição. No entanto, a aprendizagem proposicional não é somente a soma dos conceitos (Moreira, M., 2016).

Para que ocorra uma aprendizagem significativa, exige-se que se observe os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora. Sobre a diferenciação progressiva, Ausubel (2003, p. 6) diz que “a maioria da aprendizagem e toda a retenção e a organização das matérias é hierárquica por natureza, procedendo de cima para baixo em termos de abstracção, generalidade e inclusão”. Quanto à reconciliação integradora, ele afirma que:

tem a tarefa facilitada no ensino expositivo, se o professor e/ou os materiais

de instrução anteciparem e contra-ataquem, explicitamente, as semelhanças e diferenças confusas entre novas ideias e ideias relevantes existentes e já estabelecidas nas estruturas cognitivas dos aprendizes (Ausubel, 2003, p.6).

Valadares (2011) complementa afirmando que, durante a interação das novas informações com os subsunçores, estes últimos ampliam-se de maneira progressiva, devendo obedecer à hierarquia, como propõe Ausubel (2003). Em suma, na diferenciação progressiva os conceitos mais abrangentes são discriminados e especificados; na reconciliação integradora, parte-se de conceitos específicos, bem diferenciados, para conceitos mais abrangentes (Valadares, 2011).

Sobre o processo de avaliar a aprendizagem, deve ser realizada em função da busca de evidências de aprendizagem significativa. Assim, o professor deve propor situações novas, reformuladas, nas quais seja maximizada a transformação dos conhecimentos adquiridos. Algumas das maneiras de avaliar a aprendizagem são: (1) solução de problemas, (2) diferenciação de ideias relacionáveis (embora não idênticas), (3) identificação de elementos de um conceito ou proposição em uma lista que também possui elementos de outros conceitos e proposições similares ou (4) proposição de tarefa sequencialmente dependente de outra, que não pode ser realizada sem uma clara compreensão da anterior (Moreira, M., 2016).

### **2.3 Unidade de ensino potencialmente significativa**

Moreira (M., 2011) propõe uma sequência didática baseada, principalmente, na teoria da aprendizagem significativa, que ele denominou de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). Ressalta-se que qualquer unidade de ensino que seja baseada nos princípios da teoria da aprendizagem de Ausubel pode ser uma UEPS (Ribeiro; Souza, T.; Moreira, M., 2018). Em seu trabalho sobre essa sequência, o autor descreve o objetivo da seguinte maneira: “desenvolver unidades de ensino potencialmente facilitadoras da aprendizagem significativa de tópicos específicos de conhecimento declarativo e/ou procedimental” (Moreira, M., 2011, p. 2).

Moreira (M., 2011, p. 2-3) ainda cita diversos princípios que servem de base para a UEPS:

- o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa (Ausubel);
- pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende; essa integração é positiva, construtiva, quando a aprendizagem é significativa (Novak);
- é o aluno quem decide se quer aprender significativamente determinado conhecimento (Ausubel; Gowin);
- organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios;
- são as situações-problema que dão sentido a novos conhecimentos (Vergnaud); elas devem ser criadas para despertar a intencionalidade do aluno para a aprendizagem significativa;
- situações-problema podem funcionar como organizadores prévios;
- as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade (Vergnaud)
- frente a uma nova situação, o primeiro passo para resolvê-la é construir, na memória de trabalho, um modelo mental funcional, que é um análogo estrutural dessa situação (Johnson-Laird);
- a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino (Ausubel);
- a avaliação da aprendizagem significativa deve ser feita em termos de buscas de evidências; a aprendizagem significativa é progressiva;
- o papel do professor é o de provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, de organizador do ensino e mediador da captação de significados de parte do aluno (Vergnaud; Gowin);
- a interação social e a linguagem são fundamentais para a captação de significados (Vygotsky; Gowin);
- um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre aluno, docente e materiais educativos, cujo objetivo é levar o aluno a captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino (Gowin);
- essa relação poderá ser quadrática na medida em que o computador não for usado apenas como material educativo;
- a aprendizagem deve ser significativa e crítica, não mecânica (Moreira);
- a aprendizagem significativa crítica é estimulada pela busca de respostas (questionamento) ao invés da memorização de respostas conhecidas, pelo uso da diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno (Moreira).

Moreira (M., 2011) definiu oito aspectos sequenciais para elaborar uma UEPS:

1. Definir o conteúdo específico da disciplina.
2. Propor uma ou mais situações que permitam que o aprendiz demonstre conhecimentos prévios pertinentes por meio de: discussão, questionário, mapa mental, mapa conceitual, situação-problema entre outros meios.
3. Propor situações-problema introdutórias para a unidade de ensino que levem em consideração os conhecimentos prévios. Neste momento, não deve começar a ensinar o tópico escolhido, apenas envolvê-lo. Essas situações podem exercer o papel de organizador prévio. Conforme Moreira (M., 2011, p. 4), a seguir são elencados alguns exemplos de situações-problema iniciais:

- “simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, etc., mas sempre de modo acessível e problemático, ou seja, não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo”.
4. Apresentar o tópico da unidade de ensino seguindo o princípio da diferenciação progressiva, isto é, primeiramente apresentar conceitos gerais e, portanto, proporcionar uma visão abrangente do tópico. Em seguida, é importante exemplificar e apresentar os conceitos mais específicos, diferenciados. Quanto à estratégia de ensino, pode-se fazer uma breve exposição oral, seguida de uma tarefa em grupos pequenos e, por fim, uma discussão em grande grupo.
  5. Deve ser realizada uma continuação em nível mais alto de complexidade. Inicialmente deve-se retomar os aspectos, características mais abrangentes da unidade de ensino por meio de uma nova apresentação que pode ser, novamente, por meio de apresentação oral, recurso computacional, texto entre outras estratégias. Deve-se também aumentar os níveis de complexidade das situações-problema. Também devem ser apresentados outros exemplos e, para adequar ao princípio da reconciliação integradora, deve-se evidenciar semelhanças e diferenças tanto dos exemplos quanto das situações-problema. Em seguida, propor uma outra atividade colaborativa em pequenos grupos para que os aprendizes possam negociar significados. O professor deve desempenhar o papel de mediador. Moreira (M., 2011, p. 4) destaca os seguintes exemplos: “resolução de problemas, a construção de um mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, etc.”.
  6. A unidade de ensino deve ser concluída com uma nova apresentação, dando continuação à diferenciação e retomando os aspectos mais relevantes, com vista à reconciliação integradora. Essa nova apresentação dos significados pode ser apresentada de diversas maneiras e alguns exemplos de estratégias já foram citados anteriormente. Em seguida, devem ser propostas novas situações-problema, em um nível crescente de complexidade, que devem ser resolvidas em pequenos grupos e, posteriormente, discutidas em grande grupo com a mediação do professor.
  7. Durante a implementação, devem ser feitos registros, pois a avaliação da aprendizagem deve ser baseada em indícios de aprendizagem significativa. Também deve ser realizada uma avaliação somativa individual com questões e (ou) situações que evidenciem compreensão, captação de significados e, de maneira ideal, a capacidade de transferência. Ressalta-se que essas questões devem ser validadas por professores que possuem experiências na matéria.
  8. Por fim, a UEPS terá sido exitosa se, por meio das avaliações realizadas ao longo da unidade, houver indícios de aprendizagem significativa.

Sobre como avaliar a aprendizagem, Moreira (M. 2012b) enfatiza que deve ser predominantemente formativa e recursiva. A recursividade consiste em permitir ao estudante refazer as tarefas de aprendizagem.

Moreira (M., 2011) cita alguns aspectos transversais para a UEPS: (1) os materiais e estratégias de ensino devem ser diversificados ao longo da UEPS, com ênfase no questionamento em vez de respostas acabadas e, também, estimular o diálogo e a crítica; (2) Pode-se solicitar que os estudantes proponham situações-problema; e (3) podem ser realizadas atividades individuais, contudo deve-se privilegiar atividades colaborativas.

## **2.4 Mapa conceitual**

Em 1972, no programa de pesquisa da Universidade de Cornell, Novak deu origem ao mapa conceitual. O objetivo desse pesquisador era entender e monitorar as mudanças na forma em que crianças compreendiam a ciência (Novak; Cañas, 2010).

Mapa conceitual é um recurso gráfico que tem a finalidade de organizar e representar o conhecimento. Os conceitos são dispostos, normalmente, dentro de figuras geométricas, como círculos ou quadrados, e algumas palavras ou frases exercem o papel de interligação dos conceitos (Novak; Cañas, 2010). Além disso, pode também ser compreendido como um diagrama hierárquico e que representa a organização conceitual de, por exemplo, um determinado conteúdo (Moreira, M., 2006). Novak e Cañas (2010) destacam outras características importantes: representação hierárquica dos conceitos, ligações cruzadas e exemplos específicos ou objetos. A hierarquia pressupõe que ideias mais inclusivas ficam no topo, enquanto que as mais específicas estão abaixo (Novak; Cañas, 2010).

A fim de interligar as ideias, destaca-se o que se segue. O mapa conceitual pode ser usado como instrumento para representar a estrutura cognitiva (Moreira, M., 2006), por meio dos conceitos e interligações entre eles, evidenciando as relações de subordinação e superordenação. Além disso, Moreira (M., 2016) afirma que a estrutura cognitiva, para o contexto da aprendizagem significativa, em uma determinada disciplina acadêmica, refere-se à organização das ideias e ao conteúdo nessa matéria de ensino.

As ligações cruzadas são interligações entre conceitos em diversas direções

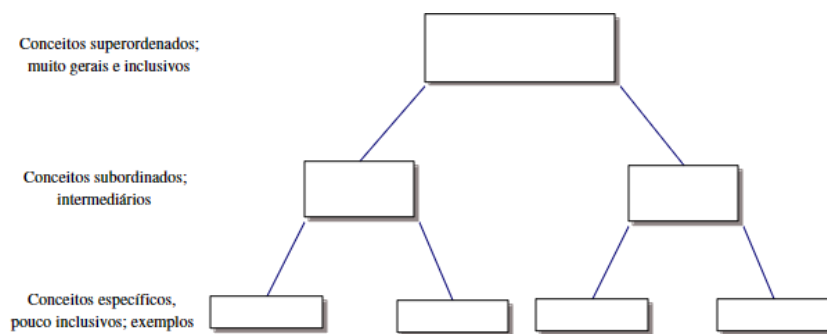


(Valadares, 2014). Deve-se levar em consideração que um mapa disposto vertical e linearmente (unidimensional) normalmente pode ser fruto das primeiras tentativas e, portanto, permite apenas uma compreensão superficial sobre o conteúdo (Boruchovitch; Souza, N., 2010). Novak e Cañas (2010) ressaltam que essa dificuldade comum no primeiro contato do aprendiz pode ser fruto de anos de aprendizado mecânico e também afirmam as características de hierarquia e ligações cruzadas são importantes para a facilitação do pensamento criativo. Além disso, em conjunto com essa ferramenta, deve-se ensinar a compreender os mecanismos do cérebro e a organização do conhecimento.

Exemplo específico para melhor explicar um conceito é, também, uma característica de um mapa conceitual. Normalmente, não ficam dentro das elipses ou quadros, tendo em vista que não são conceitos (Novak; Cañas, 2010). Portanto, é destacada graficamente a sua subordinação ao conceito.

Conforme o princípio da diferenciação progressiva de Ausubel, Moreira (M., 2006) ilustra, a partir da Figura 1, de maneira simplificada, como pode ser estruturado um mapa conceitual (Ausubel, 1980 apud Moreira, M., 2006).

**Figura 1:** modelo simplificado de mapa conceitual de acordo com a teoria de Ausubel



Fonte: Moreira, M., 2006

Os mapas conceituais podem ser eficientes tanto como uma estratégia de aprendizagem quanto como instrumento de avaliação, pois durante todo o processo de criação e recriação, podem surgir conflitos cognitivos e, a partir disso, o aprendiz pode perceber, por exemplo, incongruências, erros e dificuldades. Se analisados,

confrontados, pode dar ensejo a avanços na aprendizagem (Boruchovitch; Souza, N., 2010).

Como instrumento didático, o mapa conceitual desempenha o papel de evidenciar a hierarquia entre os conceitos estudados em sala de aula, em uma aula específica ou em uma unidade de ensino. A partir do mapa, ficam claras as relações de subordinação e superordenação entre os conceitos e, possivelmente, podem facilitar a aprendizagem (Moreira, M., 2006). Enquanto um instrumento de avaliação, Moreira (M., 2006) afirma que pode ser utilizado para obter informações sobre como está estruturada a visão do aprendiz quanto aos conceitos estudados, isto é, “como ele estrutura, hierarquiza, diferencia, relaciona, discrimina, integra, conceitos de uma determinada unidade de estudo, tópico, disciplina, etc..” (Moreira, M., 2006, p. 19).

Moreira (M., 2006) pontua que o mapa conceitual também pode ser utilizado como instrumento para análise de conteúdo. Portanto, pode ser utilizado, por exemplo, para estruturar a aula, a disciplina e a unidade de ensino. Um planejamento bem estruturado requer uma análise acurada dos conceitos centrais para o entendimento. O autor ainda prossegue afirmando que “Conceitos abrangentes, integradores, podem servir de base para o planejamento curricular de um determinado curso, enquanto conceitos mais específicos, pouco inclusivos, podem orientar a seleção de materiais e atividades instrucionais específicos” (Moreira, M., 2006, p. 26)

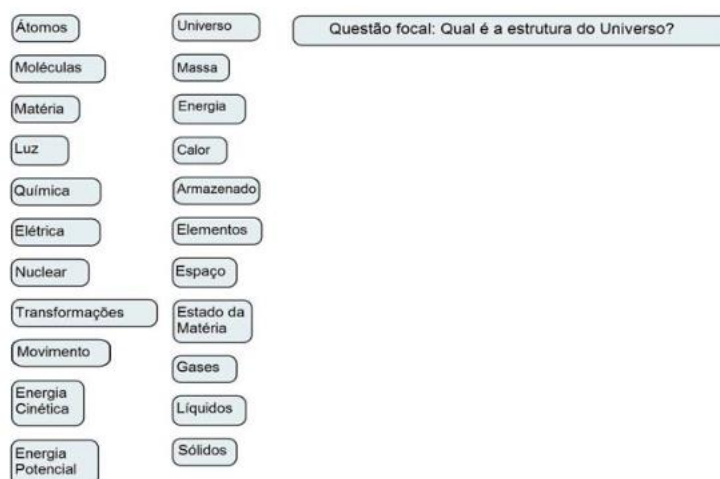
No que tange à criação de mapas conceituais, cabem algumas sugestões e observações que serão discutidas. Novak e Cañas (2010) sugerem que, para introduzir o uso dessa ferramenta, é importante que o aprendiz tenha familiaridade com o conteúdo. Sobre a familiaridade, Moreira (M., 1980, 2010 apud Moreira, M., 2012c) também concorda com sua importância e afirma que, respeitando isso, a utilização desse recurso pode se tornar potencialmente significativa e possibilitar a integração, bem como os princípios da reconciliação e diferenciação progressiva.

Novak e Cañas (2010) definem algumas etapas para a criação de um mapa conceitual: definição do contexto, definição de palavras-chave (estacionamento), elaboração do mapa conceitual preliminar, realização das ligações cruzadas entre os conceitos, realização de algumas sucessivas revisões do mapa e, por fim, deve ser feita uma revisão “final”.

O mapa conceitual depende do contexto em que é utilizado. Esse contexto pode ser definido a partir, por exemplo, de trechos de textos, experiências de laboratório ou de um problema. Esse último modo é pertinente, pois, ao definir uma questão focal, isto é, específica, o mapa conceitual desempenha o papel de facilitar a resolução (Novak; Cañas, 2010).

O próximo passo é definir uma lista de conceitos-chave, de 15 a 25 geralmente são suficientes, que podem responder à questão focal. Essa lista é como um estacionamento e normalmente se refere assim a ela, pois esses conceitos vão ser transferidos para o mapa à medida que se determina como eles se interligam. Para ajudar no processo de elaboração do mapa, sugere-se que essa lista seja definida de forma ordenada, do conceito mais geral e inclusivo (no topo da lista) para o conceito mais específico (na base). Caso o aprendiz julgue não haver relação entre os conceitos do mapa conceitual e algum conceito no estacionamento, pode optar por não o transferir ao mapa (Novak; Cañas, 2010). Dessa maneira, o mapa é construído a partir da definição de qual é a relação hierárquica entre os conceitos do estacionamento. Para ilustrar graficamente, exemplos de estacionamento de conceitos e uma questão focal estão sendo representados na Figura 2.

**Figura 2:** estacionamento de conceitos e questão focal

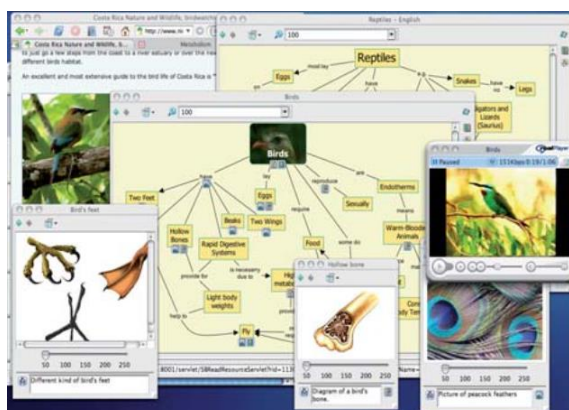


Fonte: Novak; Cañas, 2010

A etapa seguinte é a de elaboração do mapa conceitual preliminar. Este pode ser confeccionado de maneira física com o auxílio de *post-it* ou de maneira virtual utilizando, por exemplo, a ferramenta *IHMC CmapTools*. *Post-it* permite que os conceitos sejam movidos de maneira fácil em uma base como, por exemplo, papel parafinado. A mobilidade é essencial no momento da elaboração inicial do mapa conceitual para que se consiga uma boa organização hierárquica dos conceitos. Programas, como o supracitado, desempenham ainda melhor essa função, reestruturando facilmente conceitos, conjuntos de conceitos e suas frases de ligação. Ressalta-se que um mapa conceitual sempre pode ser melhorado e um bom mapa é resultado de, pelo menos, três ou mais versões (Novak; Cañas, 2010).

O programa *CmapTools* foi desenvolvido no Instituto para a Cognição Humana e Mecânica (*Institute for Human and Machine Cognition – IHMC*) e permite a criação de mapas conceituais. O programa facilita a criação, permite a colaboração em grupo, a publicação do mapa para acesso de terceiros conectados à *internet*, a conexão com fontes externas (vídeos, fotos, textos, páginas na *internet*, entre outros) e, por fim, a busca de informações na *internet*. A Figura 3 ilustra um mapa conceitual sobre pássaros feito na plataforma supracitada. Nessa ferramenta, podem ser realizadas algumas observações pontuais com recursos semelhantes a *post-it*. Portanto, é uma ferramenta de grande valia para dar retorno aos estudantes sobre o processo de construção do mapa conceitual, fornecendo orientação para revisões e melhorias na estruturação das ideias nos mapas. Com essa ferramenta, os mapas conceituais podem ser elaborados individualmente, em pequenos grupos ou com toda a turma por meio do auxílio de um projetor (Novak; Cañas, 2010).

**Figura 3:** mapa conceitual sobre pássaros criado pelo *CmapTolls*



Fonte: Novak; Cañas, 2010

Em seguida, após a elaboração do mapa conceitual preliminar, devem ser realizadas as ligações cruzadas entre os conceitos. Embora a presença de muitas conexões entre conceitos evidencie a familiaridade do aprendiz com o conteúdo (Tavares, 2007), é importante ressaltar ao aprendiz que todos os conceitos de alguma maneira podem ser relacionáveis. Dessa maneira, é necessário ser seletivo. Além disso, é importante escolher bem as palavras de conexão entre os conceitos. Também se deve evitar frases completas em vez de conceitos (Novak; Cañas, 2010).

Por fim, Novak e Cañas (2010) sugerem que o aprendiz faça uma revisão do seu mapa e, se necessário for, reestruture a versão “final” (Novak; Cañas, 2010).

### 3 CONTEÚDOS ESPECÍFICOS PARA A UEPS

#### 3.1 Efeito fotoelétrico

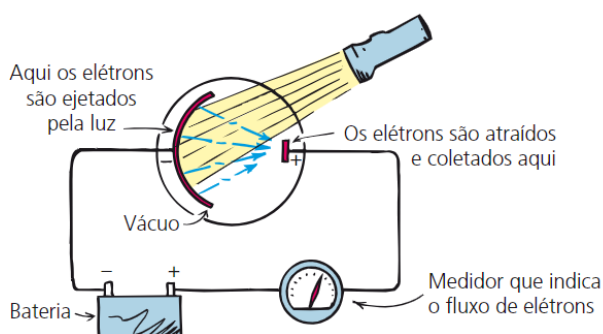
O efeito fotoelétrico foi percebido por diversos pesquisadores no final do século XIX. Esse fenômeno consiste na emissão de elétrons devido à incidência de luz sobre uma superfície (Hewitt, 2015). Para que o elétron possa ser ionizado, é necessário absorver energia suficiente para superar a atração dos íons positivos do material. Na literatura, citam-se diversas aplicações: câmeras digitais, óculos de visão noturna (Young *et al.*, 2016), fotômetros, controle de portas de elevadores (Nussenzweig, 2010), câmaras de TV (Halliday; Resnick; Walker, 2016) e trilhas sonoras de películas de filmes (antes da era digital). Ressalta-se que as células fotovoltaicas são uma

extensão desse fenômeno (Hewitt, 2015). Para complementar com outro exemplo fascinante, os tripulantes da Apollo notaram um fenômeno na lua que pode ser explicado por esse efeito. Quando a luz solar incide sobre a superfície lunar, elétrons são emitidos da poeira e, conseqüentemente, a poeira lunar torna-se carregada positivamente. Dessa forma, as partículas de poeira se repelem e se erguem sobre a superfície (Young *et al.*, 2016).

Heinrich Hertz, por meio do experimento que confirmou a teoria ondulatória de Maxwell, observou esse fenômeno em 1887 (Eisberg e Resnick, 1979; Nussenzveig, 2010; Tipler e Llewellyn, 2017). Ele descobriu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos acontece de maneira mais fácil quando incide luz ultravioleta sobre um dos eletrodos (Eisberg; Resnick, 1979). Posteriormente, pesquisadores descobriram que as partículas emitidas eram negativas (Tipler; Llewellyn, 2017). As investigações de Lenard, principalmente, contribuíram para compreender outras propriedades do fenômeno (Nussenzveig, 2010). Por exemplo, como apontado por Tipler e Llewellyn (2017), foi demonstrado que, quando as partículas eram submetidas a um campo magnético, a razão carga-massa era da mesma ordem da razão carga-massa dos raios catódicos, que eram estudados por Thomson. Isto é, essas partículas emitidas do material eram elétrons.

A Figura 4 ilustra o experimento para observar o efeito fotoelétrico. Uma luz incide sobre o eletrodo carregado negativamente e elétrons são emitidos. Os elétrons são atraídos para a placa positiva e, portanto, é possível quantificar a corrente elétrica produzida (Hewitt, 2015).

**Figura 4** – aparato experimental para observar o efeito fotoelétrico



Fonte: Hewitt, 2015

Existe uma diferença de potencial,  $V$ , entre os eletrodos, de modo que, se ela for muito grande, a corrente fotoelétrica alcança um valor limite, ou seja, todos os fotoelétrons são coletados no ânodo. Se a diferença de potencial for invertida, a corrente elétrica não se anula imediatamente. Consequentemente, entende-se que, quando os elétrons são emitidos do cátodo, a energia cinética deles é diferente de zero. Alguns desses elétrons podem até mesmo alcançar o ânodo; no entanto, se a diferença de potencial alcançar um valor suficientemente alto,  $V_0$ , denominado potencial de corte, a corrente elétrica é anulada. A energia cinética do fotoelétron mais rápido é dada pelo produto entre a carga do elétron ( $e$ ) e a diferença de potencial de corte (Eisberg; Resnick, 1979).

$$K_{máx} = eV_0 \quad (1)$$

A análise minuciosa do efeito fotoelétrico resultou em algumas contradições com a teoria ondulatória clássica (Hewitt, 2015):

1. A intensidade da luz e a frequência não estavam relacionadas com o tempo de atraso entre o instante em que a luz é acionada e o instante da emissão dos primeiros elétrons (Hewitt, 2015). Para a teoria ondulatória, a energia deveria estar distribuída uniformemente na frente de onda. Assim, uma luz de baixa intensidade deveria causar um intervalo de tempo para que o elétron absorvesse energia suficiente para ser ejetado. Contudo, esse atraso não foi detectado (Eisberg; Resnick, 1979).

2. Esse efeito era observado facilmente com luzes de alta frequência, como violeta e ultravioleta, mas não ocorria com luz vermelha (Hewitt, 2015). Portanto, existe uma frequência mínima para acontecer o efeito que independe da intensidade da luz (Eisberg; Resnick, 1979).

3. A taxa com que os elétrons eram emitidos era proporcional à intensidade da luz (Hewitt, 2015). Essa taxa, relacionada à corrente elétrica, representa a quantidade de carga elétrica atravessando uma determinada região por unidade de tempo (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

4. A energia máxima dos elétrons emitidos não dependia da intensidade da luz, mas parecia depender da frequência (Hewitt, 2015). Contudo, segundo a Física Clássica, a intensidade da luz está relacionada à amplitude do campo elétrico oscilante da onda luminosa. Como a força aplicada sobre o elétron é dada pelo produto  $eE$ , a energia cinética deveria aumentar com o acréscimo da intensidade da luz (Eisberg; Resnick, 1979).

Os cientistas ficaram intrigados pelo fato de que a intensidade da luz não causava nenhum efeito sobre a energia cinética das partículas carregadas; apenas aumentava o número de elétrons ejetados (Hewitt, 2015).

Baseado na teoria de Max Planck para explicar as propriedades da radiação de corpo negro, Einstein postulou que o feixe de luz é composto por pacotes de energia denominados “quanta de luz” (Young *et al.*, 2016) ou, por analogias com partículas como elétrons, prótons e nêutrons, estes pacotes podem também ser chamados de fótons (Hewitt, 2015), embora não sejam “partículas” no sentido usual (Young *et al.*, 2016). Para Einstein, a energia de um fóton ( $E$ ) é dada pelo produto da constante de Planck ( $h$ ) e a frequência ( $f$ ). Sabe-se também que a relação:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

Em que  $c$  é a velocidade da luz no vácuo e  $\lambda$  o comprimento de onda é válida para ondas eletromagnéticas no vácuo (Young *et al.*, 2016). Logo,

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (3)$$

A luz se propaga como uma onda e interage com a matéria como uma partícula. De acordo com Niels Bohr, os fenômenos quânticos possuem propriedades



complementares, isto é, comportam-se como onda ou como partícula, variando em função do experimento realizado. Experimentos que têm a finalidade de analisar as trocas individuais de energia e momento evidenciam propriedades de partícula. Por outro lado, experimentos que buscam analisar a distribuição espacial da energia evidenciam as propriedades ondulatórias (Hewitt, 2015).

De acordo com a teoria de Einstein, um único fóton interage com apenas um elétron e essa absorção de energia pelo elétron ocorre totalmente, ou simplesmente não acontece. O elétron é ejetado do material caso a energia absorvida seja maior que a função trabalho ( $\phi$ ). Sendo assim, os fotoelétrons são emitidos se a seguinte condição for satisfeita:

$$hf > \phi \text{ ou } f = \frac{\phi}{h} \quad (4)$$

É importante realizar algumas considerações sobre esse postulado:

1. elucida a razão pela qual esse fenômeno só acontece a partir de uma frequência mínima.
2. Elucida o porquê de não haver um intervalo de tempo (atraso) entre o instante em que a luz é incidida e o instante em que os fotoelétrons são ejetados, pois no instante em que fótons (com energia suficiente) atingem o material, os elétrons podem absorver a energia que permite sua liberação.
3. É coerente com a observação experimental de que a corrente fotoelétrica depende da intensidade da luz, isto é, para uma determinada frequência, a intensidade está relacionada diretamente com a quantidade de fótons por segundo, o que aumenta o número de elétrons emitidos por segundo e, conseqüentemente, aumenta a corrente fotoelétrica.
4. Demonstra que o potencial de corte para um determinado material depende somente da frequência da luz.

Aplicando o princípio da conservação da energia, Einstein demonstrou que a energia cinética máxima ( $K_{m\acute{a}x}$ ) de um elétron ejetado é igual a energia do fóton ( $hf$ ) menos a função trabalho ( $\phi$ ) (Young *et al.*, 2016).

$$K_{m\acute{a}x} = \frac{1}{2}mv_{m\acute{a}x}^2 = hf - \phi \quad (5)$$

Substituindo a equação (1) em (5), obtém-se:

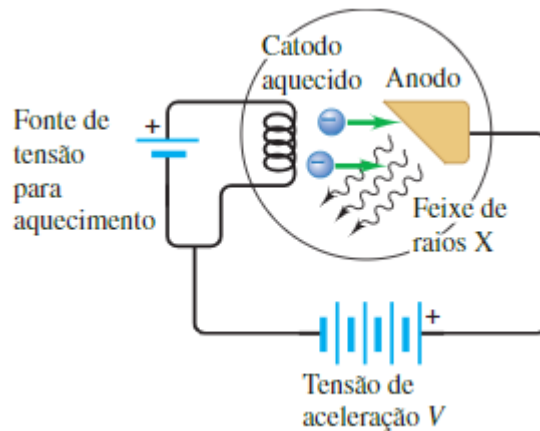
$$eV_0 = hf - \phi \quad (6)$$

A partir da equação (6), fica evidente que o potencial de corte não depende da intensidade da luz, mas da frequência (Young *et al.*, 2016).

### 3.2 Raios x

A partir das experiências com o tubo de raios catódicos, que são elétrons acelerados, Wilhelm Röntgen descobriu, em 1895, o que nomeou de raios X. A Figura 5 ilustra o aparato experimental para produzi-los. Esse cientista descobriu diversas propriedades dos raios X, entre as quais que eles se propagavam em linha reta e tinham alto poder de penetração. Como eram neutros, a hipótese era de que se tratava de radiação da ordem de  $1 \text{ \AA}$  (Nussenzveig, 2010). Röntgen nomeou essa radiação como raios X devido à natureza desconhecida desse fenômeno. Posteriormente, descobriu-se que se tratava de radiações eletromagnéticas e, portanto, apresentavam as mesmas propriedades de ondas, como polarização, difração e interferência. Os elétrons são acelerados por uma diferença de potencial de alguns milhares de volts em direção ao alvo, e os raios X são produzidos devido à sua frenagem (Eisberg; Resnick, 1979).

**Figura 5** – aparato experimental para produção de raios X semelhante ao utilizado por Röntgen



Fonte: Young *et al.*, 2016

Os raios X possuem diversas aplicações, como na medicina e na indústria. Essas radiações são essenciais para visualizar ossos quebrados e localizar defeitos na estrutura interna de metais, tendo em vista que possuem a propriedade de atravessar uma certa profundidade em materiais sólidos (Young *et al.*, 2016). Além disso, são úteis para determinar a localização de buracos negros, estudar a estrutura de cristais e a conformação de proteínas (Tipler; Llewellyn, 2017). Para produzir a imagem de raios X, o objeto é colocado entre uma fonte dessa radiação e, na era moderna, um detector eletrônico (semelhante ao de câmera digital). Nas imagens, áreas mais escuras indicam que os raios X penetraram essas regiões. Sendo assim, os tecidos moles, uma falha nos ossos ou uma bolha de ar num material sólido são representados dessa forma. Em contrapartida, como os ossos absorvem melhor essa radiação, eles aparecem como regiões mais claras (Young *et al.*, 2016).

Com base na Física Clássica, já se sabia que uma carga elétrica desacelerada (neste caso específico, freada pelo alvo) ocasiona a emissão de um espectro contínuo de radiação eletromagnética (Eisberg; Resnick, 1979). No instante em que o cátodo é aquecido a uma alta temperatura, os elétrons são liberados do átomo. Isso é chamado de emissão termiônica. De maneira análoga ao efeito fotoelétrico, para que o elétron seja ejetado é necessária uma energia mínima, maior do que a função trabalho do

cátodo. De modo comparativo, numa lâmpada fluorescente, a corrente elétrica excita os elétrons mais externos dos átomos, dando origem aos fótons de radiação ultravioleta e à luz visível. Ao passo que os elétrons mais energéticos (devido a uma alta diferença de potencial) incidindo sobre um alvo causam excitação dos elétrons mais internos, dando origem a radiações de alta energia, como os raios X (Hewitt, 2015).

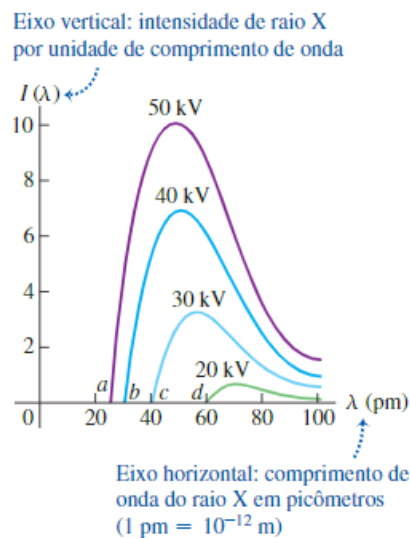
Durante o processo de geração dos raios X, surgem os espectros contínuo e característico (Rodrigues, 2005). O *bremstrahlung* produz um espectro contínuo devido às diversas colisões que acontecem (Eisberg e Resnick, 1979), enquanto que as transições eletrônicas produzem o espectro característico (Rodrigues, 2005).

A radiação contínua comumente é referida como *bremstrahlung*. Esse termo é de origem alemã, em que "brem" significa frenagem e "strahlung", radiação. Portanto, o *bremstrahlung* ocorre quando elétrons colidem com a matéria, como os raios cósmicos, nos cinturões de radiação de van Allen ou até mesmo na frenagem de elétrons provenientes de aceleradores ou núcleos radioativos (Eisberg; Resnick, 1979). É importante observar que esse processo é como o efeito fotoelétrico inverso. No efeito fotoelétrico, a radiação incide sobre um material e elétrons são liberados, ao passo que no *bremstrahlung*, a superfície emite radiação eletromagnética após a incidência de elétrons em alta velocidade sobre a matéria (Young *et al.*, 2016; Eisberg e Resnick, 1979).

O modelo ondulatório previa que o *bremstrahlung* seria análogo, por exemplo, às ondas sonoras originadas quando dois objetos colidem. Dessa maneira, as ondas produzidas a partir desse processo deveriam ter um espectro com todas as frequências e comprimentos de onda. No entanto, como mostrado na Figura 6, nos espectros de *bremstrahlung* obtidos para um mesmo cátodo e ânodo e com diferentes diferenças de potencial (representados pelas curvas) e, conseqüentemente, velocidades diferentes, não são emitidas todas as frequências e comprimentos de onda de raios X. Cada espectro tem uma frequência máxima ( $f_{m\acute{a}x}$ ) e um comprimento de onda mínimo ( $\lambda_{m\acute{i}n}$ ), representados pelos pontos **a**, **b**, **c** e **d**. A frequência máxima é diretamente proporcional à diferença de potencial, enquanto que o comprimento de onda mínimo é inversamente proporcional à diferença de potencial,

ou seja, quanto maior for a diferença de potencial, maior será a frequência máxima e menor será o comprimento de onda mínimo (Young *et al.*, 2016).

**Figura 6** – espectro contínuo de raios X gerados num alvo de tungstênio ao incidir elétrons acelerados devido a algumas diferenças de potencial.



Fonte: Young *et al.*, 2016

O modelo ondulatório não explica esse resultado, pois não considera o comportamento discreto da energia, no entanto, levando em consideração o modelo de fótons, isso pode ser explicado. Um único elétron tem carga igual a  $-e$ . No momento em que ele é acelerado por uma diferença de potencial  $V$ , conseqüentemente, adquire uma energia cinética equivalente a  $eV$ . O fóton com maior energia é produzido quando o elétron atinge o alvo e para imediatamente (sem sofrer sucessivos choques). Sendo assim, toda a energia cinética do elétron será convertida na energia do fóton. Dessa maneira, (Young *et al.*, 2016)

$$eV = hf_{\text{máx}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{mín}}} \quad (7)$$

Pode-se concluir que o modelo corpuscular da luz é válido tanto para a emissão quanto para a absorção de radiação (Young *et al.*, 2016). Além desse espectro contínuo discutido, existe também o espectro característico de emissão de raios X, que é produzido devido às transições eletrônicas. É chamado assim, pois é específico para cada elemento químico. Quando o alvo é bombardeado por elétrons, são criadas lacunas nas camadas mais internas dos átomos. Como o átomo ionizado tende a voltar a seu estado fundamental de energia, acontecem transições eletrônicas de elétrons mais externos para o interior dos átomos que, conseqüentemente, emitem fótons (Rodrigues, 2005).

Por fim, é importante ressaltar que os raios X podem causar danos ao tecido dos seres vivos, pois sua energia pode possibilitar a quebra de ligações moleculares e gerar radicais livres altamente reativos, que, conseqüentemente, danificam até mesmo o material genético. Em especial, os raios X podem tanto causar o câncer (células expostas, ao sofrer danos, continuam se reproduzindo com os defeitos) quanto ser úteis no seu combate (têm a capacidade de destruir células cancerosas, principalmente as mais jovens) (Young *et al.*, 2016).

#### 4 PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA

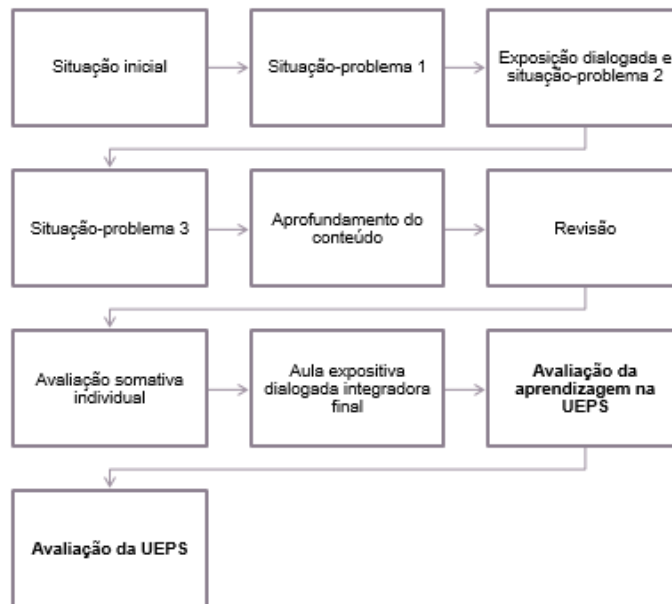
Os tópicos específicos a serem estudados em Física Moderna serão: o efeito fotoelétrico e os raios X, pois, como apontado por Young *et al.* (2016), o processo *Bremsstrahlung* é como o efeito fotoelétrico inverso. No efeito fotoelétrico, a radiação incide sobre um material e elétrons são liberados. No *bremsstrahlung*, a superfície emite radiação eletromagnética após a incidência de elétrons em alta velocidade sobre a matéria. Portanto, é possível estabelecer relações, diferenciar e abordar os tópicos de maneira progressiva e integradora em uma sequência didática.

Este estudo é de natureza qualitativa e é caracterizado da seguinte forma:

[...] ao contrário do que ocorre nas pesquisas experimentais e levantamentos em que os procedimentos analíticos podem ser definidos previamente, não há fórmulas ou receitas predefinidas para orientar os pesquisadores. Assim, a análise dos dados na pesquisa qualitativa passa a depender muito da capacidade e do estilo do pesquisador (Gil, 1999, p. 176).

A unidade de ensino será aplicada em uma turma de 3º ano do Ensino Médio, durante oito encontros, com duas aulas semanais. A Figura 7 ilustra uma representação esquemática da sequência didática. A amostragem desta pesquisa será determinada por acessibilidade ou conveniência. Como explica Gil (1999), neste tipo de pesquisa, o pesquisador seleciona os participantes a que tem acesso, levando em consideração que estes representam o universo pesquisado. Este tipo de amostragem é pertinente, por exemplo, para pesquisa qualitativa, a qual não requer um alto rigor na precisão da amostragem.

**Figura 7 – Representação esquemática da UEPS**



Fonte: elaborado pelos autores

### **Situação inicial:**

Será disponibilizado um questionário impresso (apêndice A) para determinar os conhecimentos prévios dos estudantes. Alguns conceitos que provavelmente os estudantes já tiveram algum contato ao longo da formação e que são importantes para compreender os conteúdos aqui propostos são:

- O que é uma onda eletromagnética e suas características (Frequência, comprimento da onda, amplitude e intensidade);
- Natureza da luz;
- Princípio da conservação da energia;
- Carga elétrica;
- Corrente elétrica;
- Diferença de potencial.

### **Situação-problema 1:**

Será proposto que manipulem a simulação sobre o efeito fotoelétrico disponibilizado pelo sítio eletrônico *PhET Interactive Simulations (s.d)* (Disponível em: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/photoelectric>). Os estudantes deverão



manipular as variáveis de intensidade da luz, comprimento de onda, material alvo e observar o que acontece no experimento virtual. Deverão explicitar a relação de dependência das variáveis citadas com o fenômeno, bem como o explicar a partir do experimento. Em seguida, vão ser mostrados os detalhes do aparato para gerar os raios X, apresentados por Radiologia Profissional (2021) (Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VEukw-a Nmc>). Por fim, será realizada uma discussão em grande grupo, com a mediação do professor, a partir da conclusão dos grupos menores que realizaram o experimento e analisaram o vídeo. Por fim, os estudantes deverão entregar as questões respondidas ao professor (apêndice B).

### **Exposição dialogada e situação-problema 2:**

Será apresentado, de maneira expositiva, inicialmente, o conceito geral do efeito fotoelétrico, a quantização da luz e a equação associada ao fenômeno. Em seguida, tendo em vista que, de acordo com Hewitt (2015), as células elétricas fotovoltaicas são uma extensão desse fenômeno, serão apresentados dois exemplos de aplicação com o *Arduino*, que consiste de ligar um LED com sensor de luz visível, *Light Dependent Resistor (LDR)*, e sensor de infravermelho. Será ressaltado que o LDR pode ser utilizado também para alarmes e sensores de movimento, como apontado por Silva (2018).

Será mostrado um experimento simples que consiste em emitir luz laser de diferentes comprimentos de onda sobre a tela de TV antiga e observar, para comprimentos de onda de alta frequência (Por exemplo, o violeta) um rastro de luz. Em seguida, com base na avaliação de aprendizagem a partir de uma tarefa sequencialmente dependente da outra, conforme Moreira (M., 2016), os estudantes deverão responder em pequenos grupos, de maneira escrita, e depois discutir em grande grupo:

1. Se há relação entre a luz observada na tela da TV e a observada no vídeo da aula anterior
2. A partir dos experimentos observados, o que são os raios X.

No final da aula, utilizando-se da recursividade, os estudantes terão acesso às

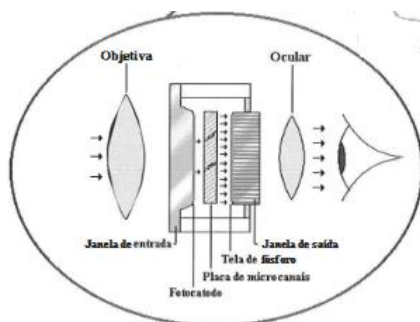
questões da aula anterior e será disponibilizada uma outra folha na qual poderão modificar as respostas.

### Situação-problema 3:

Inicialmente, será apresentado o tópico primário, efeito fotoelétrico, da unidade de ensino tendo em vista o princípio da diferenciação progressiva. Resumidamente, de acordo com Moreira (2011), esse princípio nos orienta a apresentar, nesta ordem: o conceito geral, exemplificar e apresentar os conceitos específicos. .Portando, primeiro será destacado, como afirma Hewitt (2015), que esse fenômeno consiste na emissão de elétrons devido à incidência de luz sobre alguma superfície.

Os óculos de visão noturna, que são baseados na amplificação visual, utilizam um equipamento chamado Tubo Intensificador de Imagem (TII), que tem a função de captar a luz residual, amplificá-la e, por fim, convertê-la em luz visível. A luz que incide sobre o fotocátodo é convertida em fotoelétrons. Eles são acelerados pelo campo elétrico e, a partir da segunda geração de TII, os fotoelétrons são multiplicados pela placa de microcanais. Como mostrado na Figura 8, o TII está entre as lentes objetiva e ocular (Demenicis; Cordeiro, 2001).

**Figura 8** – vista em corte de um equipamento de visão noturna intensificador de imagem



Fonte: Demenicis; Cordeiro, 2001

Em seguida, serão apresentados os conceitos mais específicos. Portanto, será relatado que esse fenômeno depende do comprimento de onda da luz e destacado

que não acontece para comprimentos de onda muito grandes, como, por exemplo, a luz vermelha. Além disso, será enfatizado que a intensidade (brilho) da luz não interfere na energia cinética dos fotoelétrons. Na realidade, está relacionada com a quantidade de elétrons ejetados, que, por sua vez, relaciona-se com a corrente elétrica (Hewitt, 2015).

Para finalizar a exposição oral, será realizada uma diferenciação de grandezas contínuas e discretas para, a partir disso, explicar a quantização da luz, essencial para explicar o fenômeno.

Após satisfeita a sugestão de familiaridade com o conteúdo, proposto por Novak e Cañas (2010), será apresentado como fazer um mapa conceitual com o *CmapTools*. Em seguida, tendo em vista que é importante definir um contexto, como propõe Novak e Cañas (2010), os estudantes deverão analisar o texto sobre efeito fotoelétrico disponibilizado pela *Khan Academy* (s.d) (Disponível em: <https://pt.khanacademy.org/science/physics/quantum-physics/photons/a/photoelectric-effect>), e criar, em pequenos grupos, um mapa conceitual a partir da seguinte questão focal: **como acontece o efeito fotoelétrico e por que os físicos do século XIX não conseguiam explicá-lo?**

Os estudantes também deverão fazer um pequeno texto explicando o seu mapa, pois como afirmam Dantas, Silva e Borges (2018), o mapa conceitual não é autoexplicativo. Por fim, por meio de um sorteio, pelo menos dois grupos deverão apresentar à turma o mapa conceitual. Eventualmente poderão ser feitas perguntas aos estudantes com base nos conceitos e palavras de interligação entre conceitos no mapa. Após fazerem o mapa preliminar, o *link* será compartilhado com o professor via e-mail.

#### **Aprofundamento do conteúdo:**

De maneira expositiva, serão retomadas as características mais relevantes do Efeito Fotoelétrico, isto é, ressaltar que esse fenômeno depende do material sobre o qual a luz incide e da frequência do fóton. Em seguida, será analisado, num nível mais alto de complexidade, o efeito fotoelétrico e sua relação com os raios X.

Para isso, os estudantes deverão ler um recorte dos capítulos 38.1 e 38.2 do

livro de Young *et al.* (2016), que são intitulados, respectivamente, “**luz absorvida como fóton: Efeito Fotoelétrico**” (da página 202 a 206) e “**luz emitida como fótons: a produção de raios X**” (da página 209 a 211). Nestes capítulos, Young *et al.*, (2016) explicam esses fenômenos bem como citam alguns exemplos, embora boa parte sem muitos detalhes. Algumas das aplicações do efeito fotoelétrico citadas nesse trecho proposto para leitura são: câmeras digitais, óculos de visão noturna e repulsão de partículas de poeira na lua (ressalta-se que este último exemplo será omitido intencionalmente, pois é uma das novas situações-problema da prova individual). São destacadas as seguintes aplicações dos raios X na medicina e na indústria: tomografia computadorizada, tratamento de câncer e geração de imagens (médicas e de metais na indústria). Destaca-se que os autores evidenciam a relação inversa entre esses dois fenômenos.

A partir de uma das maneiras de avaliar a aprendizagem destacada por Moreira (M., 2016), que consiste em diferenciar ideias relacionáveis (embora não idênticas), os estudantes deverão responder, em pequenos grupos, à seguinte questão: **Com base no texto, qual é a relação entre o efeito fotoelétrico e os raios X?**

Em seguida, será realizada uma discussão em grande grupo sobre a questão proposta. Buscar-se-á, como propõe Moreira (M., 2011), instigar e promover uma diferenciação entre os dois fenômenos, bem como uma reconciliação integradora, tanto dos exemplos quanto do problema proposto. Por fim, utilizando-se da recursividade, os estudantes poderão analisar o mapa conceitual feito na aula anterior e modificá-lo, caso achem pertinente. Será ressaltado que, como afirmado por Novak e Cañas (2010), um mapa conceitual sempre pode ser melhorado e um bom mapa é resultado de, pelo menos, três ou mais versões.

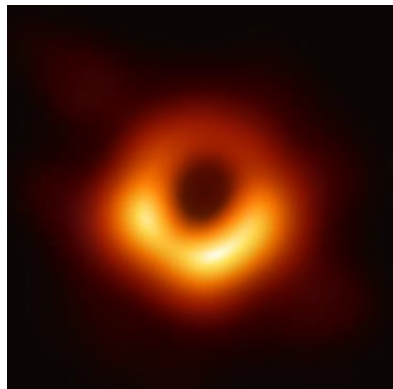
### **Revisão:**

Será realizada uma diferenciação entre o efeito fotoelétrico e os raios X, apresentando, respectivamente, os GIFs a seguir, disponibilizados por Web Física (s.d.) (Disponível em: <https://webfisica.com/imagens-fisica/aulas/aula13-99/lenard.gif>) e pela UFRGS (s.d.) (Disponível em: [https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/images/xray\\_anim.gif](https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/images/xray_anim.gif)), para ilustrar os

fenômenos, ressaltando que são fenômenos inversos.

Será realizada uma breve discussão sobre o comportamento dual da luz. Em seguida, será destacado um exemplo com mais detalhes. Como apontado por Tipler e Llewellyn (2017), buracos negros podem ser detectados devido aos raios X. Para ilustrar, será então apresentada a imagem da sombra do buraco negro M87\* (Figura 9). De acordo com Neves (2020), ao redor dessa sombra, há uma região avermelhada-alaranjada com gás e poeira orbitando e caindo em direção ao buraco negro. Devido ao movimento dessa matéria, acontece a emissão de raios X, o que, por sua vez, permite-nos enxergar essa estrutura.

**Figura 9** - Imagem da sombra do buraco negro M87\*



Fonte: Colaboração do *Event Horizon Telescope* (2019)

Levando em consideração que, de acordo com Hewitt (2015), as células elétricas fotovoltaicas são uma extensão do efeito fotoelétrico, os sensores fotoelétricos serão discutidos a fim de ressaltar as diferenças e semelhança com o efeito fotovoltaico.

Como afirma Silva (2018), no momento em que o fóton incide sobre o sensor fotovoltaico, fornece energia suficiente para que o elétron “salte” de nível (*gap*). De acordo com Vieira (2023), a semelhança desses fenômenos está no fato de ocorrer após a incidência de luz sobre um determinado material. O efeito fotoelétrico ocorre externamente ao material e o efeito fotovoltaico acontece internamente. Além disso, a principal característica do efeito fotoelétrico é a frequência mínima para ocorrer o fenômeno. Portanto, a possibilidade de gerar energia elétrica por meio da luz do sol,

utilizando o efeito fotovoltaico, está justamente nessa diferença.

Por fim, os estudantes poderão modificar o mapa conceitual. Alguns grupos irão apresentar os seus mapas à turma e deverão ressaltar possíveis diferenças. Ao final, o mapa conceitual modificado deverá ser enviado ao professor.

### **Avaliação somativa individual:**

Os estudantes serão avisados previamente que terão uma atividade individual (Apêndice C) sobre os conteúdos da unidade de ensino. Como proposto por Moreira (M., 2011), nessa avaliação terão questões que evidenciem compreensão, captação de significado e, de maneira ideal, a capacidade de transferência.

### **Aula expositiva dialogada integradora final:**

Será revisto todo o conteúdo da UEPS e será apresentada uma análise das respostas de todas as tarefas propostas. Será destacado como o efeito fotoelétrico pôde ser explicado pela Física Moderna, ao contrário da Física Clássica, e ressaltada a importância prática, assim como a dos raios X. Por fim, será enfatizado esses fenômenos são efeitos inversos

Para finalizar a UEPS, deverão ser realizadas mais duas ações de avaliação como propõe Moreira (M., 2011):

1. Avaliação da aprendizagem na UEPS, baseada nos trabalhos desenvolvidos ao longo da sequência, na observação em sala de aula e na avaliação somativa individual
2. Avaliação da própria UEPS, a partir dos resultados de aprendizagem

### **Análise dos dados**

A avaliação da aprendizagem deverá ser realizada por meio da busca de indícios de aprendizagem significativa:

1. Análise dos mapas conceituais
2. Análise dos questionários e da avaliação somativa individual.

A análise dos mapas conceituais pode ser feita:

1. Verificando as características do mapa de cada estudante, como o número de conceitos representados, ligações entre conceitos, ligações cruzadas, níveis hierárquicos e exemplos citados.
2. Por meio da comparação com um mapa de um especialista (Turns; Atman; Adams, 2000 *apud* Araújo; Menezes; Cury, 2003).

Ressalta-se que a maneira mais adequada para avaliar um mapa conceitual é analisar os conceitos em relação à sua vizinhança em vez de isoladamente (Araújo; Menezes; Cury, 2003).

Araújo, Menezes e Cury (2003) propõem os seguintes critérios para avaliação dos mapas conceituais:

- Um conceito ou relação que não mais aparece no mapa conceitual avaliado e nem no mapa do professor, pode indicar que concepções equivocadas ou incompletas foram solucionadas;
- Caso o estudante, com base em um conceito mais inclusivo que contém em mapas anteriores, relacione a conceitos mais específicos, pode indicar que houve uma diferenciação deste determinado conceito;
- Caso um conceito ou relação - considerados válidos - que estavam presentes em mapas conceituais anteriores e não estejam no mapa avaliado, pode indicar que durante a aula ou leitura do material, as concepções aparentemente sedimentadas foram reformuladas;
- Caso represente uma nova relação entre um conjunto de conceitos ou proposições que estão em segmentos diferentes da hierarquia, pode indicar uma integração reconciliadora entre esses conceitos que, por sua vez, proporciona uma melhor compreensão.

A seguir, são complementados alguns desses critérios com a literatura recente:

- (a) a presença de uma quantidade significativa de ligações cruzadas evidencia a familiaridade do aprendiz com o conteúdo (Tavares, 2007). Um mapa conceitual vertical ou linear, normalmente, é fruto das primeiras tentativas; portanto, permite apenas uma compreensão superficial do conteúdo (Boruchovitch; Souza, N., 2010).
- (b) conceitos mais gerais devem estar representados dentro de elipses e conceitos específicos dentro de retângulos, para evidenciar a hierarquia de conceitos (Moreira, M., 2012c).
- (c) uma ou duas palavras-chave entre os conceitos devem evidenciar a

relação conceitual entre ambos (Moreira, M., 2012c).

Com base em Moreira (M., 2011), no que se refere aos questionários ao longo da UEPS, textos e à prova individual, serão analisados com o objetivo de determinar se houve captação de significado, compreensão, capacidade de explicar e capacidade de aplicar para resolver situações-problema

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver uma proposta didática baseada nos aspectos sequenciais de uma UEPS, conforme proposto por Moreira (M., 2011).

As aulas foram desenvolvidas à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa, que subjaz à UEPS, em especial atendendo aos princípios da diferenciação progressiva e reconciliação integradora, conforme a sequência didática avança.

Espera-se que, a partir dos diversos métodos de coleta de dados ao longo da unidade de ensino e das diretrizes determinadas para avaliá-los, seja possível determinar indícios de aprendizagem significativa. No entanto, como a Teoria da Aprendizagem Significativa valoriza os conhecimentos prévios e prima pelo planejamento a partir deles, ressalta-se que esta proposta apresenta limitações nesse aspecto. Sendo assim, sua aplicação em sala de aula deve se atentar para a necessidade de adaptação de acordo com esse parâmetro.

A disposição do estudante para aprender, que é um dos requisitos da Teoria da Aprendizagem Significativa, pode ser um dos desafios para a implementação, haja vista que isso deve partir do próprio estudante. Assim como a abordagem não convencional de priorizar a realização de discussões em grupo, ao invés de fornecer respostas prontas, pode representar um obstáculo, considerando que os estudantes geralmente estão acostumados com a abordagem mecânica — um dos desafios no ensino citado por Moreira (M., 2017).

Por fim, esta proposta pode vir a corroborar, em conjunto com outras pesquisas realizadas, a eficiência do uso da UEPS para o ensino de Física.



## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. M. T.; MENEZES, C. S.; CURY, D. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, XIV., 2003, Rio de Janeiro. **Apoio Automatizado à Avaliação da Aprendizagem Utilizando Mapas Conceituais [...]**. [S. l], 2003. Disponível em: <http://milanesa.ime.usp.br/rbie/index.php/sbie/article/view/259/0>. Acesso em: 28 jun. 2024.

Ausubel, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Tradução: Teopisto, L. Lisboa: Paralelo editora, 2003. 226 p.

Ausubel, D. P.; Novak, J. D.; Hanesian, H. **Psicologia educacional**. Tradução: Nick, E.; Rodrigues, H. B. C.; Luciana, P.; Fontes, M. Â.; Maron, M. G. R. 2 ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980. 625 p.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. Brasília: MEC, 1999.

COLABORAÇÃO DO EVENT HORIZON TELESCOPE. **Press Release (April 10, 2019):** astronomers capture first image of a black hole. Disponível em: <https://eventhorizontelescope.org/press-release-april-10-2019-astronomers-capture-first-image-black-hole>. Acesso em: 30 jun. 2024

DANTAS, M. P; SILVA, F. U. da; BORGES, Jacques Cousteau da Silva. Uso dos mapas conceituais como ferramenta de avaliação qualitativa, com ênfase no ensino de Física. **Holos**, [S.L.], v. 3, p. 186-200, 23 set. 2018. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/5932/pdf>. Acesso em: 30 jun. 2024.

DEMENICIS, L. da S.; CORDEIRO, M. C. R. Visão noturna e o princípio de intensificação de luz residual. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, [S.L.], v. , p. 70-105, 2001. Quadrimestral. Disponível em: [https://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT\\_1\\_quad\\_2001/visao\\_noturna.pdf](https://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_1_quad_2001/visao_noturna.pdf). Acesso em: 29 jun. 2024.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. [S.L.]: Campus, [1979]. 928 p.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 65. ed. Rio de Janeiro / São Paulo: Paz e Terra, 2018. 256 p.

GIL, A. C. **Método e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 220 p.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J.. **Fundamentos de física**. Tradução:

BIAS, Ronaldo Sérgio de. 10. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 836 f. v. 4.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. Tradução de Trieste Freire Ricci. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. 816 p.

KHAN ACADEMY. **Efeito fotoelétrico**. s.d. Disponível em: <https://pt.khanacademy.org/science/physics/quantum-physics/photons/a/photoelectric-effect>. Acesso em: 30 jun. 2024.

LABORATÓRIO NACIONAL DE LUZ SÍNCROTRON. **Como funciona o Sirius?** s.d. Disponível em: <https://lnls.cnpem.br/sirius/como-funciona-o-sirius/#>. Acesso em: 26 ago. 2024.

LIMA, Carlos R. A. **Propriedades corpusculares da radiação**. 2014. Disponível em: [https://www2.ufjf.br/carlos\\_lima/wp-content/uploads/sites/520/2024/05/cap2.pdf](https://www2.ufjf.br/carlos_lima/wp-content/uploads/sites/520/2024/05/cap2.pdf). Acesso em: 30 jun. 2024.

MARQUES, T. C. de F. et al. Ensino de física moderna e contemporânea na última década: revisão sistemática de literatura. **Scientia Plena**, [S.L.], v. 15, n. 7, p. 1-08, 9 ago. 2019. Associação Sergipana de Ciência. Disponível em: [10.14808/sci.plena.2019.074809](https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.074809). Acesso em: 06 abr. 2023.

MELHORATO, R. L.; NICOLI, G. T. Da física clássica à moderna: o simples toque de uma sirene. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 34, n. 3, p. 0-0, set. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/RLBNLpPY8V4R76BDXfNcvFf/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 06 abr. 2022.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 32, n. 94, p. 73-80, dez. 2018b. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/3JTLwqQNsfWPqr6hjzyLQzs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 28 jun. 2024.

MOREIRA, I. de C. Feynman e suas conferências sobre o ensino de física no Brasil. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 40, n. 4, 2 jul. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/R9wHVCTd3D37cKHmYH88CVk/?lang=pt>. Acesso em: 28 jun. 2024.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa em ciências: condições de ocorrência vão muito além de pré-requisitos e motivação. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – Encitec**, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 25-35, 9 jul. 2021b. Disponível em: <https://san.uri.br/revistas/index.php/encitec/article/view/434>. Acesso em: 28 jun. 2024..

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. 2012c. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2024.

MOREIRA, M. A.; VEIT, E. A. (ed.). **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Porto Alegre: Ufrgs, Instituto de Física, 2013. 55 p. Disponível em: [https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24\\_n6\\_moreira.pdf](https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24_n6_moreira.pdf). Acesso em: 21 jul. 2024

MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 43, n. 1, 2021a. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/xpwKp5WfMJsfCRNFCxFhqLy/>. Acesso em: 28 jun. 2024.

MOREIRA, M. A. ensino de física no século xxi: desafios e equívocos. **Revista do Professor de Física**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 80–94, 2018a. Disponível em: <https://www.periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/19959>. Acesso em: 28 jun. 2024.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. **Revista do Professor de Física**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 1–13, 2017. Disponível em: <https://www.periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/7074>. Acesso em: 27 jun. 2024.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e diagramas V**. 2006. Disponível em: [https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Livro\\_Mapas\\_conceituais\\_e\\_Diagramas\\_V\\_COMPLETO.pdf](https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Livro_Mapas_conceituais_e_Diagramas_V_COMPLETO.pdf). Acesso em: 29 jun. 2024.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** 2012b. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2024.

MOREIRA, M. A. Organizadores prévios e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 1-11, 2012a. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/ORGANIZADORESport.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2024.

MOREIRA, M. A.. **Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências**: a aprendizagem significativa. A aprendizagem significativa. 2016. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/Subsidios6.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2024.

MOREIRA, M. A. Unidades de enseñanza potencialmente significativas: UEPS (potentially meaningful teaching units: PMTU). Aprendizagem Significativa em **Revista/Meaningful Learning Review**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011.

NEVES, J. C. S. O buraco negro e sua sombra. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 42, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/MNc6M6njv79NbCcbLjBW9HB/?lang=pt>. Acesso em: 30 jun. 2024.

NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. J.. A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los. **Práxis Educativa**, Ponta Grossa , v. 05, n. 01, p. 09-29, jun. 2010 . Disponível em <[http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1809-43092010000100002&lng=pt&nrm=iso](http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1809-43092010000100002&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 28 jun. 2024.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física básica**. São Paulo: Blucher, 2010. 438 p. v.4.

PALANDI, J.; FIGUEIREDO, D. B.; DENARDIN, J. C.; MAGNAGO, P. R. **Física Moderna**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2010. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/450/2020/02/fisimod.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2023.

PEREIRA, D. R. de O.; AGUIAR, O. **ensino de física no nível médio**: tópicos de física moderna e experimentação. *Revista Ponto de Vista, [S. l.]*, v. 3, n. 1, p. 65–81, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/RPV/article/view/9743>. Acesso em: 06 abril 2023.

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS,. **Efeito fotoelétrico**. s.d. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/photoelectric>. Acesso em: 26 ago. 2024.

PONTES NETO, J. A. da S. P. Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel: perguntas e respostas. **Série-Estudos - Periódico do Programa de Pós-Graduação em Educação da UCDB, [S. l.]**, n. 21, 2013. Disponível em: <https://www.serie-estudos.ucdb.br/serie-estudos/article/view/296>. Acesso em: 29 jun. 2024.

RADIOLOGIA PROFISSIONAL. **Como é formada a imagem no filme de raio x**. 2021. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=VEukw-a\\_Nmc](https://www.youtube.com/watch?v=VEukw-a_Nmc). Acesso em: 25 set. 2023.

RIBEIRO, T. N.; SOUZA, D. do N.; MOREIRA, M. A. O mapa conceitual como instrumento de avaliação de uma unidade de ensino potencialmente significativa (ueps) sobre o conteúdo razões trigonométricas no triângulo retângulo. **Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review, [S.L.]**, v. 8, n. 1, p. 21-37, 2018. Disponível em: [https://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo\\_ID135/v8\\_n1\\_a2018.pdf](https://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID135/v8_n1_a2018.pdf). Acesso em: 29 jun. 2024.

RODRIGUES, J. de A. **Raios X: difração e espectroscopia**. São Carlos: Edufscar, 2005. 51 p.

SILVA, D. D. de A. **Confecção e aplicação de uma placa foto-eletrônica como ferramenta para mediar projetos pedagógicos sobre o efeito fotoelétrico no**

**século XXI**. 2018. 69 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Física, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/26749>. Acesso em: 29 jun. 2024.

SOUZA, N. A. de; BORUCHOVITCH, E. Mapas conceituais: estratégia de ensino/aprendizagem e ferramenta avaliativa. **Educação em Revista**, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 195-217, dez. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/edur/a/LyJBCdDvGvdzmn6tRQv5JJL>. Acesso em: 29 jun. 2024.

TAVARES, R. Construindo mapas conceituais. **Ciênc. cogn.**, Rio de Janeiro, v. 12, p. 72-85, dez. 2007. Disponível em [http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-58212007000300008&lng=pt&nrm=iso](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-58212007000300008&lng=pt&nrm=iso). acessos em 29 jun. 2024.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física moderna**. Tradução de Ronaldo Sérgio de Bias. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2017. 772 f.

UFRGS. **Raios X**. s.d. Disponível em: [https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/images/xray\\_anim.gif](https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/images/xray_anim.gif). Acesso em: 30 jun. 2024.

VALADARES, J. A teoria da aprendizagem significativa como teoria construtivista. **Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 36-57, 2011. Disponível em: [https://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo\\_ID4/v1\\_n1\\_a2011.pdf](https://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID4/v1_n1_a2011.pdf). Acesso em: 28 jun. 2024.

VALADARES, J. **Organizadores Gráficos facilitadores da Aprendizagem Significativa**: diagramas em vê e mapas de conceito. Caparica: Várzea da Rainha Impressores Sa, 2014. Disponível em: <https://www.uied.fct.unl.pt/sites/www.uied.fct.unl.pt/files/Valadares1%20%281%29.pdf> f. Acesso em: 28 jun. 2024

VIEIRA, K. D. **Unidades de ensino potencialmente significativas para o estudo do efeito fotoelétrico e fotovoltaico**. 2023. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino de Física, Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Cariacica. Unidades de ensino potencialmente significativas para o estudo do efeito fotoelétrico e fotovoltaico, 2023. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/738446>. Acesso em: 30 jun. 2024.

WEB FÍSICA. **Efeito fotoelétrico**. s.d. Disponível em: <https://webfisica.com/imagens-fisica/aulas/aula13-99/lenard.gif>. Acesso em: 30 jun. 2024.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física IV; Sears e Zemansky: ótica e física moderna. **Hugh D. Young, Roger A. Freedman**, 2016.

## APÊNDICE A – Situação inicial

- 1) O que são ondas eletromagnéticas?
- 2) Quais são as características das ondas eletromagnéticas?
- 3) O que é a luz?
- 4) Analise a seguinte afirmativa: a energia total de um sistema isolado é constante. Sobre essa afirmação, marque como verdadeiro ou falsa as opções a seguir:
  - ( ) Significa que um sistema isolado pode perder parte da energia total;
  - ( ) Esse é o princípio da conservação da energia cinética;
  - ( ) Essa afirmativa é falsa;
  - ( ) Esse é o princípio da conservação da energia mecânica
- 5) Analise e classifique as afirmações a seguir como verdadeira (V) ou falsa (F).
  - ( ) O elétron possui carga elétrica negativa
  - ( ) O próton possui carga elétrica positiva
- 6) Para surgir uma corrente elétrica entre dois pontos é necessário que exista:
  - a) Uma diferença de pressão entre os dois pontos
  - b) Uma diferença de potencial entre os dois pontos
  - c) Uma igualdade de pressão entre os dois pontos
  - d) Uma igualdade de potencial entre os dois pontos
- 7) Como as lâmpadas dos postes desligam automaticamente? Qual o mecanismo que permite isso?
- 8) Como conseguimos, por exemplo, desligar a TV com o controle remoto? Como funciona?
- 9) As imagens de raios X permitem que possa visualizar os ossos de uma pessoa.

Como são geradas essas imagens?

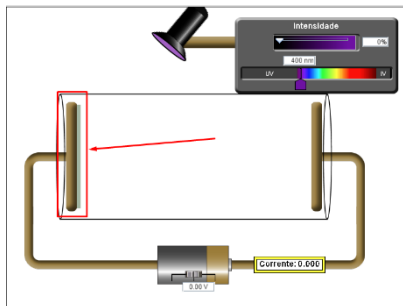
10) Alguns objetos são chamados de fluorescentes e eles brilham no escuro. Você já viu alguns desses objetos? Por que alguns objetos brilham no escuro?



## APÊNDICE B – Situação-problema 1

1. Observe que a intensidade da luz está em 0% (sem brilho). Ajuste uma luz de comprimento de onda referente ao vermelho. Em seguida, aumente a intensidade dessa luz gradativamente até chegar em 100% da sua intensidade.

1.1. Aconteceu algo no experimento durante o aumento da intensidade da luz? Veja a figura 1)?



**Figura 1:** em vermelho está destacado o metal no qual está sendo incidido luz

2. Coloque a intensidade da luz em 0%. Em seguida, ajuste uma luz de comprimento de onda igual a 640 nm (vermelho). Agora, aumente a intensidade dessa luz vermelha até chegar a 100%.

2.1. Foram “arrancados” elétrons do metal?

2.2. Anote a intensidade da corrente elétrica medida no simulador

3. Coloque a intensidade da luz em 0%. Em seguida, ajuste uma luz de comprimento de onda igual, aproximadamente, a uns 400 nm (violeta). Agora, aumente a intensidade dessa luz até chegar a 100%.

3.1. Aconteceu algo durante o aumento da intensidade da luz?

**Modifique o material alvo para ZINCO.**

4. Ajuste a luz para o azul. Em seguida, aumente a intensidade da luz até 100%.

4.1. O que são essas “bolinhas” que estão saindo do material metálico?

5. Ajuste a luz para o violeta. Em seguida, aumente a intensidade da luz até 100%.

5.1. Aconteceu algo durante o aumento da intensidade da luz?

6. Ajuste a luz para, aproximadamente, 250 nm (ultravioleta).

6.1. Aconteceu algo durante o aumento da intensidade da luz?

**Modifique o material alvo para PLATINA.**

7. Ajuste a luz para um comprimento de onda mínimo que você consiga observar o mesmo fenômeno anterior (que foi observado, por exemplo, na questão 7). Dica: Pode deixar a intensidade de luz em 100% e varie a cor, a partir do vermelho, até chegar numa cor que você consiga observar o fenômeno.

7.1. Qual o comprimento de onda você conseguiu observar o fenômeno?

**Modifique o material alvo para Cálcio.**

8. Ajuste a luz para um comprimento de onda mínimo que você consiga observar o mesmo fenômeno anterior (que foi observado, por exemplo, na questão 7). Dica: Pode deixar a intensidade de luz em 100% e varie a cor, a partir do vermelho, até chegar numa cor que você consiga observar o fenômeno.

8.1. A partir de qual cor (ou comprimento de onda) você conseguiu observar o fenômeno?

9. Esse fenômeno observado depende da intensidade (brilho) da luz?

10. Esse fenômeno depende do comprimento de onda (cor) da luz?

11. Esse fenômeno depende do material em que a luz é incidida?

12. A partir desses dados tente explicar esse fenômeno.

13. Com base no vídeo, responda: levando em consideração que são elétrons que estão saindo do cátodo em direção ao ânodo e o brilho observado no vídeo, há alguma relação entre o efeito fotoelétrico e a geração de raios X?

## APÊNDICE C – Avaliação somativa individual

- 1) Explique o efeito fotoelétrico.
- 2) Luz de qualquer frequência consegue retirar elétrons de um metal? Justifique.
- 3) Dê exemplos de aplicação do efeito fotoelétrico no dia a dia.
- 4) Discuta o processo de geração dos raios X (*bremstrahlung*) como sendo o inverso do efeito fotoelétrico. Pensando nas energias dos elétrons num tubo de televisão, você esperaria que esse eletrodoméstico poderia emitir raios X?<sup>1</sup>
- 5) Os astronautas da Apollo observaram um curioso fenômeno a partir da órbita da lua que consiste em uma repulsão das partículas de poeira lunar. Sendo assim, enxergavam a poeira lunar acima da superfície da lua. Levando em consideração que o sol é a única fonte de luz que incide sobre a lua, discuta uma ou mais possíveis explicações desse fenômeno.<sup>2</sup>
- 6) O Sirius é um acelerador de partículas brasileiro situado em Campinas – SP. Ele possui um canhão de elétrons, que são emitidos devido ao aquecimento de uma liga metálica. Em seguida, os elétrons são acelerados por campos elétricos oscilantes até se aproximarem de uma velocidade próxima à luz. Esses elétrons ficam circulando durante horas em órbitas estáveis guiados por ímãs. No entanto, às vezes são desviados por campos magnéticos, ou seja, acontece uma desaceleração. Discuta o que provavelmente acontece quando esses elétrons são desviados.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Questão adaptada de Lima (2014)

<sup>2</sup> Questão baseada em um exemplo do livro de Young *et al.*, (2016)

<sup>3</sup> Questão baseada nas informações do sítio eletrônico do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (s.d)